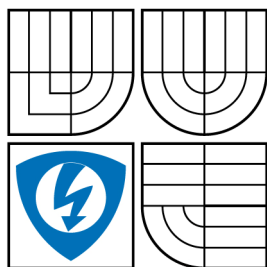


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTROTECHNOLOGY

NÁVRH KONCEPCE VÝROBNÍ LINKY PRO VÝROBU VÍCEVRSTVÝCH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ S MIKROPROPOJI

ML PCB WITH MICROVIA - PRODUCTION LINE DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jiří Libich

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ STARÝ, Ph.D.

BRNO 2009

Zadání práce vložit místo tohoto listu!!!

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou desek plošných spojů a to především typu HDI s mikropropoji. Jejím cílem je navrhnout a realizovat výrobní linku na výrobu vícevrstevných DPS přesněji čtyřvrstevných DPS s využitím moderních technologií. Tento návrh byl realizován pro podnik zabývající se výrobou DPS.

Projekt (bakalářská práce) byl uskutečněn ve spolupráci s firmou ČEMEBO BLANSKO s.r.o.

ABSTRACT

This Bachelor thesis deals with the production of Printed Circuit Boards (PCBs), especially

of the High Density Interconnection(HDI) type with microconnections. The aim of my thesis is to design and implement an technology equipments for the production of multilayer PCBs, more precisely four-layer PCBs, with the use of modern technology.

The design was carried out for the company dealing with the production of PCBs.

The Bachelor thesis was done in cooperation with ČEMEBO BLANSKO s.r.o.

Klíčová slova

DPS, materiál, povrch, mikropropoje, vrstvy, lepicí list

Keywords

PCB, material, surface, microvia, layers, prepreg

Bibliografická citace díla:

LIBICH, J. *Návrh koncepce výrobní linky pro výrobu vícevrstvých DPS s mikropropoji - bakalářská práce*. Brno, 2009. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D. FEKT VUT v Brně.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 2. června 2009

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za inspirativní a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci. Dále děkuji spolupracující firmě ČEMEBO s.r.o. za poskytnutí prostoru a pomoci při realizaci práce a koordinátorovy vývoje této firmy Ing. Miloslavu Zvejškovi za poskytnutou pomoc a odborné rady.

Obsah

Úvod.....	6
1. Vývoj propojovacích struktur.....	6
1.1 Druhy propojovacích struktur a technologie výroby.....	7
1.2 Technologie výroby propojovací struktury na DPS.....	9
1.2.1 Pattern-plating.....	10
1.2.2 Pattern-plating s diferenčním leptáním.....	10
1.2.3 Panel-plating, tenting.....	10
1.2.4 Nepájivá maska.....	12
1.2.5 Povrchová úprava mědi	12
2. Vícevrstvé propojovací struktury (VV DPS)	14
2.1 Mikropropoje.....	15
3. Návrh výrobní linky na výrobu VV DPS.....	18
3.1 Požadavky na výrobní linku a jednotlivé výrobní operace.....	18
3.2 Popis jednotlivých operací při výrobě VV DPS.....	19
3.3 Navržené blokové schéma pro výrobu výroby 4V DPS.....	25
4. Zařízení pro výrobní linku VV DPS.....	27
4.1 Vytváření vodivých motivů.....	27
4.2 Vytváření mikropropojů (microvia).....	29
4.3 Zařízení na laminaci fotorezistu Riston® LDI 500.....	30
4.4 Zařízení pro automatickou optickou kontrolu (AOI).....	31
4.5 Zařízení pro elektrické testování DPS.....	31
4.6 CNC zařízení pro vrtání otvorů.....	33
4.7 Zařízení pro laminaci VV DPS.....	34
4.8 Zařízení pro konečné dělení přířezu - frézováním.....	34
4.9 Zařízení pro konečné dělení přířezu - drážkováním.....	35
4.10 Zařízení pro nanášení nepájivé masky.....	36
4.10.1 Zařízení pro vysušení nanášené nepájivé masky.....	37
4.10.2 Zařízení pro UV expozici vysušené masky.....	37
4.11 Zařízení pro povrchovou úpravu měděného povrchu nechráněného nepájivou maskou.....	38
4.12 Zařízení pro sesouhlasení jednotlivých vrstev VV DPS.....	39
5. Materiály vhodné k výrobě DPS s mikropropoji.....	40
5.1 Fotorezist pro technologii LDI.....	40
5.2 Základní materiály pro vícevrstvé DPS.....	41
5.3 RCC fólie pro vytváření dalších vrstev na DPS.....	41
5.4 Vrtáky pro vrtáčku Micronic 86.....	42
5.5 Vrtací vřetena pro vrtání a frézování.....	43
6. Závěr.....	44
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	45
7. Seznam literatury použité při zpracování práce	46

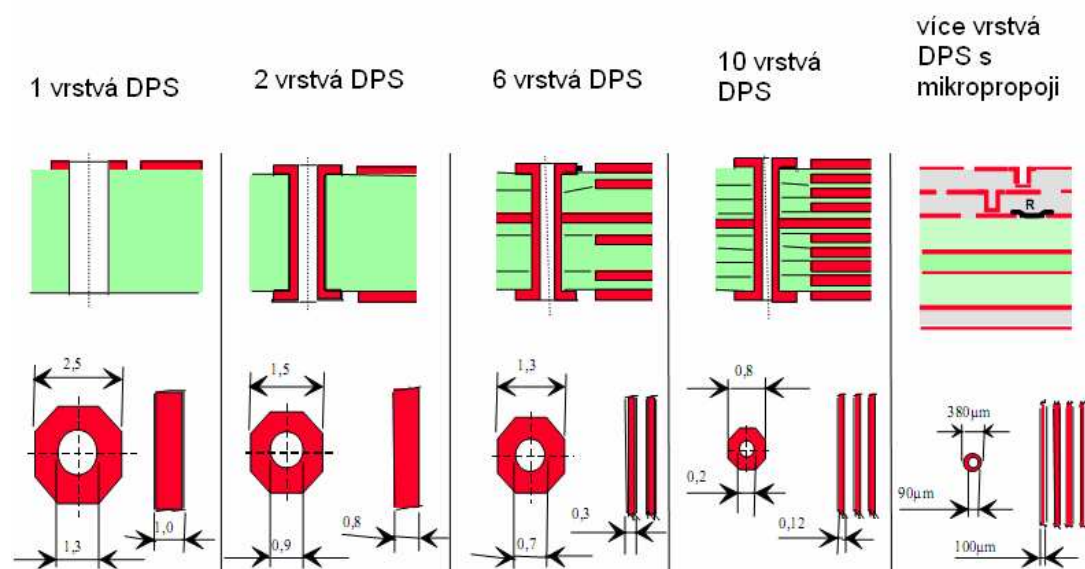
Úvod

V roce 1947 byl v Bellových laboratořích v USA vynalezen tranzistor, který způsobil významný posun ve vývoji elektroniky, oproti elektronkám vynikal obrovskou miniaturizací, nízkou spotřebou energie a podstatně zvýšenou spolehlivostí. Tyto přednosti umožnily realizovat a vyvíjet elektronické obvody, na podstatně menších plochách s vyšší hustotou součástek. Potřeba realizovat stále složitější elektronické obvody, vedla k vzniku prvních propojovacích struktur, jejichž počátek sahá do padesátých let minulého století, přesněji byla tato technologie patentována 31. července roku 1956.

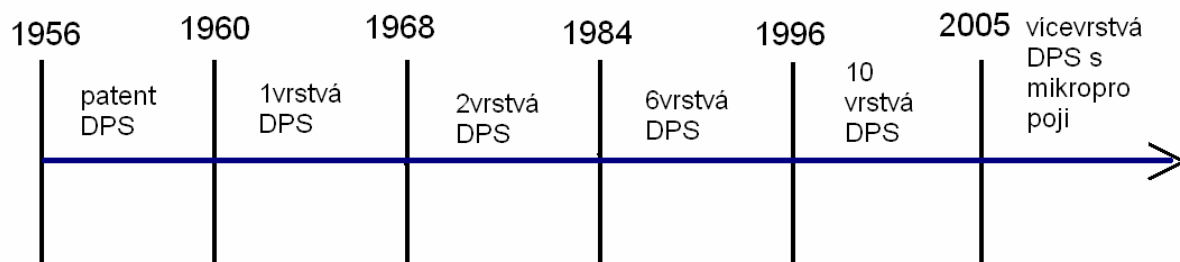
V této práci je nastíněna problematika vývoje a výroby VV DPS spojená s praktickým návrhem výrobní linky pro čtyřvrstvé DPS s mikropropoji. Snahou bylo navrhnout jednotlivé, dílčí po sobě jdoucí operace vhodné pro sériovou výrobu.

VV DPS jsou dalším krokem ve vývoji DPS. Jejich potřeba plyne z neustále rostoucích požadavků na elektronické aplikace, ve kterých je kladen důraz na stále menší kompaktní rozměry, vysoký výkon, spolehlivost, jakost. Z technologického hlediska je jejich výroba náročná. Jsou kladeny vysoké nároky na jednotlivé dílčí operace jako např. technologické sesouhlasení atd. Při výrobě jsou použity novodobé výrobní postupy a technologie.

1. Vývoj propojovacích struktur



Obrázek 1. Zobrazuje vývoj DPS od roku 1960 spolu s rozlišením, kterým je myšlena nejmenší vzdálenost vodič/mezer. [5]



Obrázek 2. Znázorňuje vývoj DPS od roku 1956 kdy byla patentována první propojovací struktura.

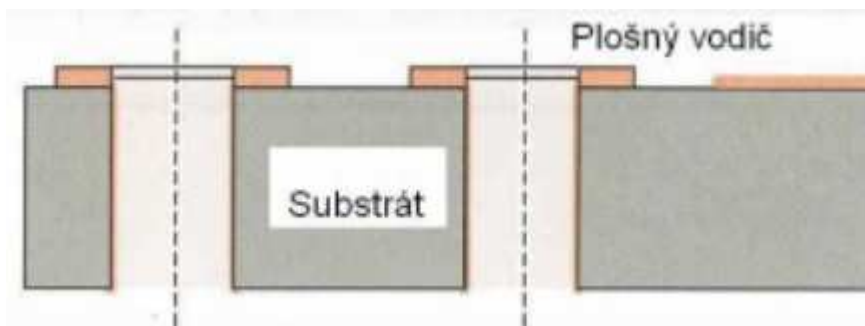
1.1 Druhy propojovacích struktur a technologie výroby

Desky plošných spojů mohou být rozděleny podle těchto základních kritérií:

Podle počtu vodivých vrstev tj. propojovacích struktur:

- Jednovrstvé DPS – single layer board

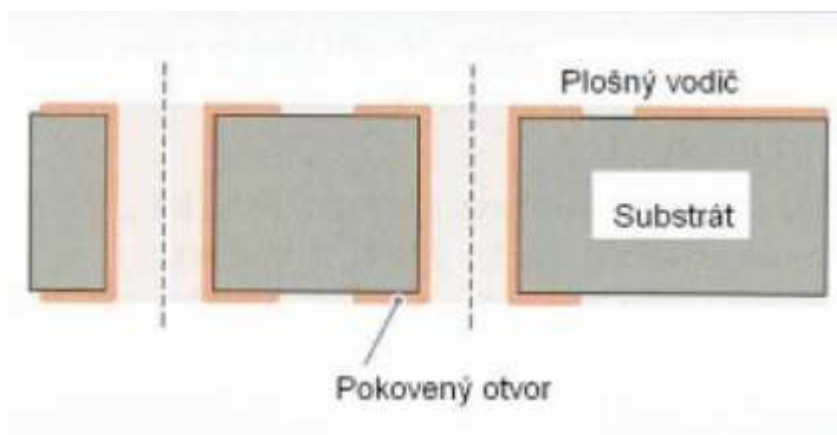
Vodivý obrazec je zhotoven pouze na jedné straně desky jak ukazuje Obrázek 3.[1]



Obrázek 3.

- Dvouvrstvé DPS – two-layer printed board

Vodivý obrazec je zhotoven na obou stranách substrátu, vrstvy jsou propojeny pokovovanými otvory jak je znázorněno na Obrázku 4.[1]



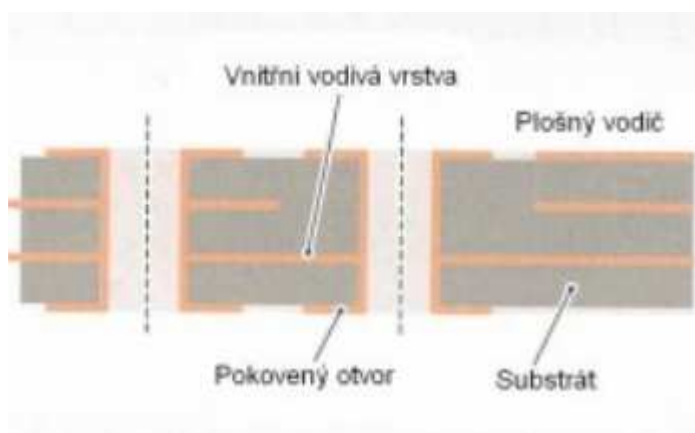
Obrázek 4.

Vícevrstvé DPS –multilayer printed board

Je možné rozdělit do dvou kategorií a to:

- vícevrstvé DPS s klasickou hustotou propojení
- vícevrstvé DPS s vysokou hustotou propojení.

Vícevrstvé DPS s klasickou hustotou propojení mívají obvykle 3 a více vodivých vrstev, které jsou podle požadavků propojeny pokovovanými otvory jak ukazuje Obrázek 5.[1]

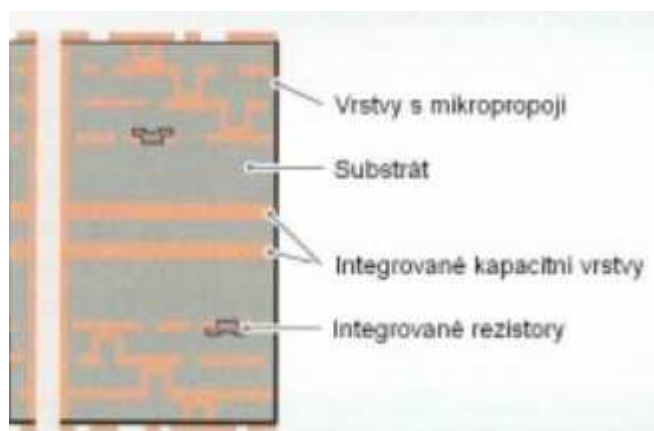


Obrázek 5.

Vícevrstvé DPS s vysokou hustotou propojení –high density interconnection (HDI)

Tyto desky obsahují průchozí pokovené otvory a také mikropropoje-microvia, které můžeme rozdělit podle typu na:

Na Obrázku 6 je zobrazena vícevrstvá (VV) DPS s deseti vodivými vrstvami.



Obrázek 6. Na obrázku je znázorněna VV DPS s mikropropoji s vysokou hustotou propojení tzv. high density interconnection [1]

Podle typu použitého dielektrika v substrátu:

Monolitické propojovací struktury — používá se pouze jeden typ dielektrika, jsou ohebné i neohebné.

Modulární propojovací struktury — jsou používány různé typy dielektrik (keramika, prepreg atd.), používá se u vícevrstevných DPS.

Modulárně hybridní propojovací struktury — využívají rozdílné dielektrické typy i výrobní technologie mají využití u vícevrstevných DPS.[2]

Tloušťky základních typů plátovaných TM:

(0,8 ±0,1) mm; (1,2 ±0,13) mm; (1,5 ±0,13) mm; (1,6 ±0,13) mm; (2,4 ±0,18) mm

Jiné specifické tloušťky vyrábějí výrobci individuálně na přání zákazníka => vyšší cena.

1.2 Technologie výroby propojovací struktury na DPS

Již při návrhu DPS je třeba mít na paměti další technologický postup při její realizaci (výrobě).

Základem pro výrobu DPS je plátovaný ZM dodaný výrobcem v požadované tloušťce a toleranci viz.část 2.3.1.

V Evropě převládá typ výroby vodivého motivu na DPS subtraktivní technologií využívající principu leptání měděné fólie kterou je pokryt ZM.

- Typy používaných výrobních technologií:

- Subtraktivní technologie výroby DPS je založena na leptání vodivého motivu na DPS ,přičemž požadovaný vodivý motiv je kryt leptuodolnou vrstvou (rezistem). Tato technologie se využívá především v Evropě .
- Aditivní technologie výroby DPS je založena na principu nanášení požadovaných vodivých obrazců na substrát chemicky (bez pomoci elektrického proudu) tzv. autokatalitickou reakcí.

Tato technologie je hojně využívána u výrobců DPS v Asii.

Subtraktivní technologie je možno rozdělit do 3 základních typů a to[1]:

- **pattern-plating**
- **pattern-plating s diferenčním leptáním**
- **panel plating, tenting**

1.2.1 Pattern-plating (pokovení vzoru (obrazu))-nejrozšířenější

Ten typ zhotovování vodivého motivu využívá pokovení požadovaného vodivého obrazce.

Postup je následující:

Materiál plátovaný měděnou (Cu) fólií na kterém jsou vodivé cesty a otvory galvanicky (s pomoci el.proudu) zesíleny mědí tloušťky o cca 25 μ m, poté pokoveny Sn nebo Sn/Pb rezistem. Po odstranění (odstripování) fotorezistu je odhalená měď leptána. Jako leptuodolná vrstva slouží Sn, Sn/Pb,[1] postup ukazuje Obrázek 7.

Pro tento typ se používá standardní tloušťka mědi 18- 105 μ m, běžně 35 μ m.

1.2.2 Pattern-plating s diferenčním leptáním

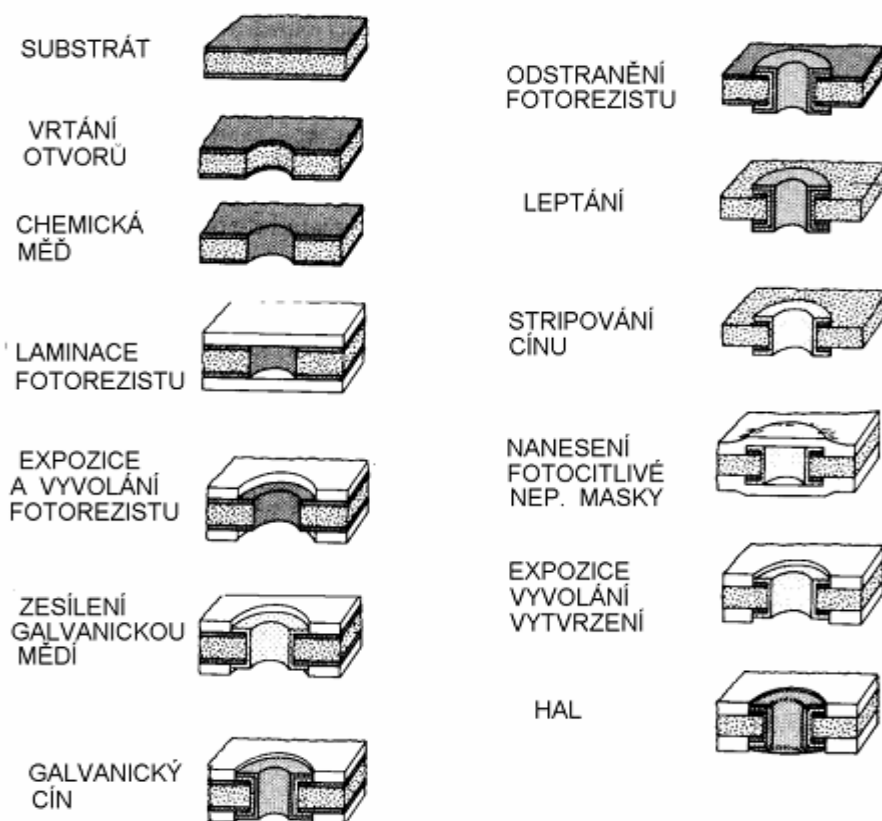
Plátovaný materiál s tloušťkou Cu folie 5 μ m ev. 9 μ m, vodivé cesty a otvory zesíleny galvanickou mědí. Po odstranění fotorezistu je provedeno leptání.[1]

Tenká vrstva je chráněna krycí hliníkovou (Al) fólií nebo měděnou (Cu) tloušťky 40 μ m až 80 μ m. Ta se před nanesením fotorezistu sloupne (mechanicky nebo chemicky).

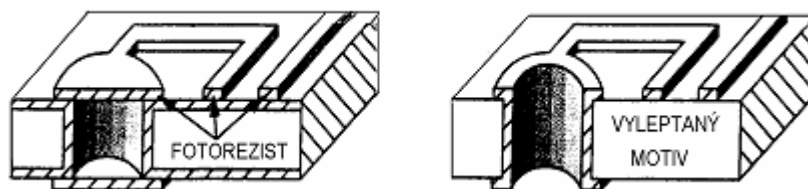
Zesílení vodivého obrazce galvanicky-mědí tloušťky cca 35 μ m, nepoužívá se žádná leptuodolná vrstva!

1.2.3 Panel-plating, tenting (pokovení celého technologického přířezu)

Celý plátovaný ZM je galvanicky a chemicky pokryt mědí cca 35 μ m. Jako leptuodolná vrstva slouží fotorezist. Po nanesení/expozici/vyvolání fotorezistu zůstanou otvory a vodivé cesty maskovány (kryty) fotorezistem. viz. Obrázek 8.[1]



Obrázek 7: Postup zhotovování vodivého motivu metodou pattern-plating.[1]



Obrázek 8: Postup při vytváření motivu leptací technikou panel-plating.[1]

Roztoky leptací lázně jsou voleny podle typu použité leptuodolné vrstvy a podle typu použité technologie např. směs kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku nebo chloridu železitého.[6]

1.2.4 Nepájivá maska (solder mask)

Funkce nepájivé masky jsou především:

- minimalizovat tvorbu můstků a zkratů pod nepájivou maskou
- omezuje tvorbu zkratů a můstků mezi pájecími ploškami a vodiči
- zajišťuje mechanickou ochranu tenkých vodičů, při opravách apod.
- ochraňuje desku před klimatickými vlivy

Druhy nepájivých masek:

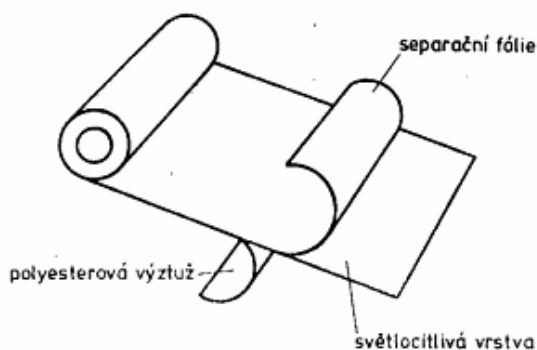
- Snímatelná maska (temporary solder mask)
Používá se jako přechodná (mezioperační), má za úkol chránit pokovené otvory a povrchy se speciální úpravou v procesu výroby.
- Permanentní nepájivá maska (Permanent Solder Mask)
Je elektroizolační ochranná vrstva nanesená na neosazené DPS tloušťky 12,5 až 100 μm . Masku nanášíme na očištěnou DPS zbavenou cínu, většinou v barvě zelené.

Masky dále dělíme na tekuté (více používané) a tuhé.

Tekuté nepájivé masky můžeme nanášet:

- Pomocí síta s motivem, tento způsob je levnější vhodný pro velké série. Důležité správné nastavení síta, technologie, sesouhlasení.
- Přímo sítotiskem na celou plochu DPS, kde se výsledný obrazec získá exponováním a následným vytvrzením masky v požadovaný motiv, nevytvrzená část masky se následně odstraní.

Tuhé nepájivé masky se nanášejí laminováním obdobně jako fotorezist, mají sendvičovou strukturu viz Obrázek 9. Tyto masky jsou dražší než tekuté.



Obrázek 9. Sendvičová struktura tuhé nepájivé masky a fotorezistu aplikovaná laminováním.

1.2.5 Povrchová úprava mědi

Po nanesení nepájivé masky následuje povrchová finální úprava ploch, které nejsou chráněny nepájivou maskou. Účelem této operace je ochránit měděný povrch proti oxidaci, zajištění dobré pájitelnosti povrchu a skladovatelnosti. Typy těchto povrchů volíme podle požadavků na:

- materiálová kompatibilita - chemicko/fyzikální kompatibilita s vodivým povrchem DPS (dobrá smáčivost povrchu, slučitelnost s působením různých tavidel)
- procesní kompatibilita - rovinnost plošky, tloušťka vrstvy, možnost kontaktování apod.
- environmentální kompatibilita – ekologie, odolnost proti nežádoucím procesům (růst intermetalických vrstev, whiskery apod.). [1]

Rozlišujeme dvě metody pokrytí povlaky:

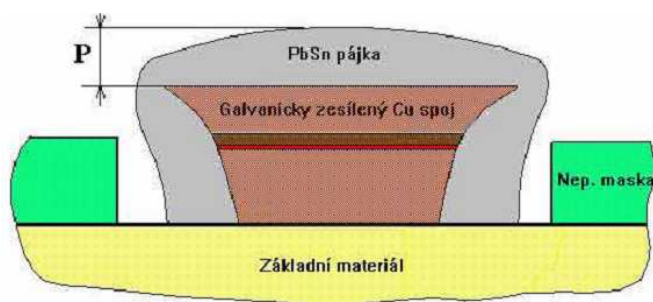
- pokovování (HAL, Ni/Au)
- metoda pokrytí organickými povrchy (OSP)

- HAL (Hot Air Levelling)

Jedná se o nanášení vrstvy PbSn (olovo, cín) na kovovou plochu (nejčastěji je používána měď). Nanáší se žárově, tloušťky cca 6 μm , viz Obrázek 10.

Nevýhody HALu:

- použití HALu se začne výrazně omezovat, zejména z ekologických a aplikačních důvodů
- v důsledku vysokých teplot prohnutí a zkroucení DPS
- nedostatečná rovinnost pájecích ploch
- nemožnost kontaktování vodičů



Obrázek 10. Na obrázku je vyznačena vrstva žárově naneseného PbSn.

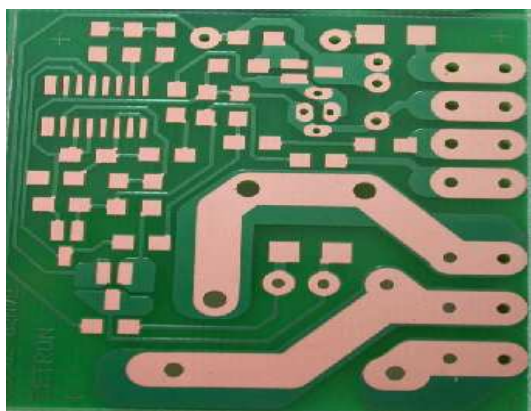
- Ni/Au (nikl, zlato)

Jedná se o chemickou příp.

galvanickou metoda nanášení vrstvy niklu a poté vrstvy zlata na odhalený měděný povrch. Metoda se preferuje v náročnějších aplikacích, výraznou předností je rovinnost povrchu i možnost kontaktování, jeho nevýhodou zejména u bezolovnatých pájek je výrazná difúze zlata z povrchu DPS do spoje.[1]

- OSP (Organic Surface Protectives)

Je chemická metoda nanášení organických inhibitorů (zamezovačů, zdržovačů) oxidace mědi na odhalený měděný povrch DPS. Používají se často látky na bázi benzoimidazolů např. MEC SEAL 5018. Při této povrchové úpravě nemohou vzniknout intermetalické vrstvy. Obrázek 11 ukazuje povrch DPS po aplikaci OSP.

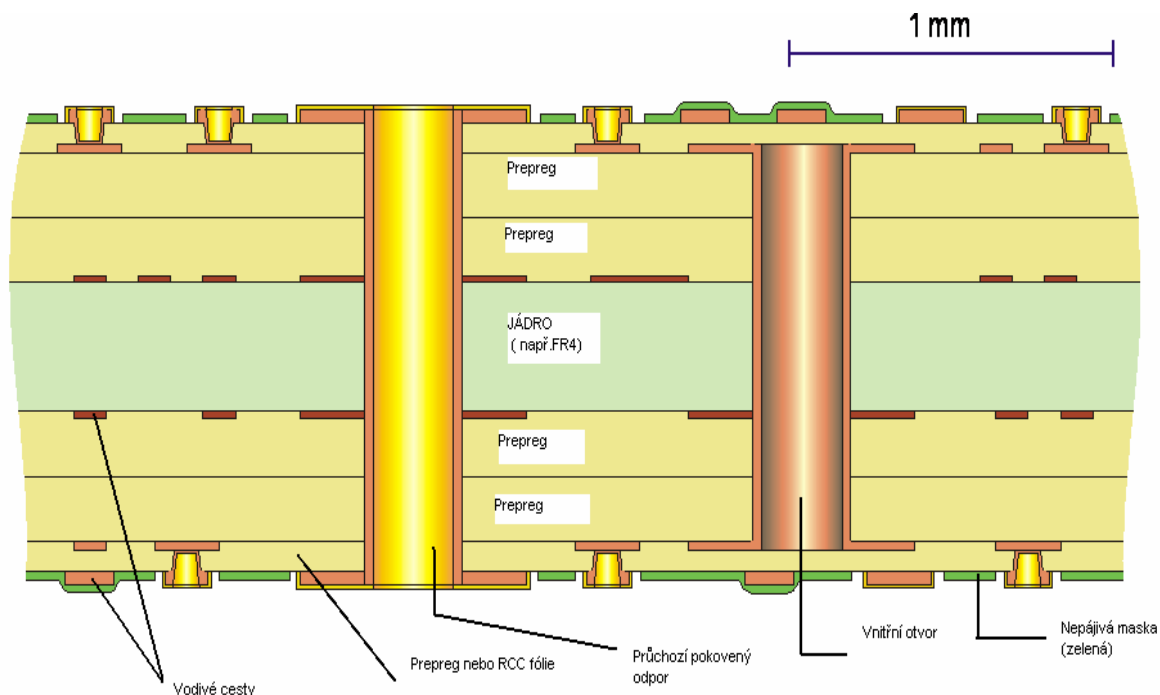


Obrázek 11. DPS po aplikaci OSP typu MEC SEAL 5018. [7]

2.3 Vícevrstvé propojovací struktury 2.

2. Vícevrstvé propojovací struktury (VV DPS)

VV DPS slouží k realizaci větší hustoty plošných spojů, kterou nelze uskutečnit na dvouvrstvých DPS. VV DPS se skládají střídavě z vrstev vodivých obrazců a izolačních vrstev. U výroby VV DPS jsou kladeny vysoké nároky na komplexně zvládnutý postup a technologii výroby. Na Obrázku 12 je znázorněn průřez šestivrstvou DPS.[1]



Obrázek 12 ukazuje strukturu šestivrstvé DPS s vyznačenými propoji a materiály použité na jednotlivé vrstvy. [25]

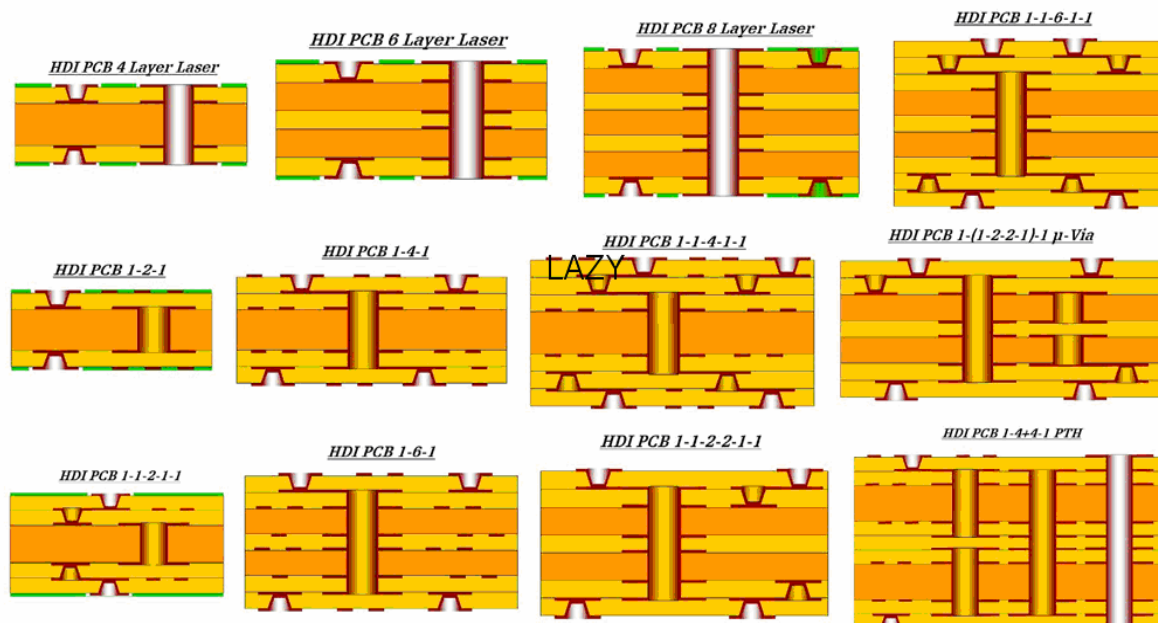
Výsledná tloušťka vícevrstvé DPS je od 1 do 6 mm. Hlavním kritériem je zadaný požadavek zákazníka.

- Složení VV DPS:

- Jádru (Core)- je základním stavební prvek VV DPS je většinou tvořen jednostranně příp. oboustranně plátovaným ZM často typu FR4 s odpovídající hodnotou teploty skelného přechodu T_g .
- Lepicí vrstva (Prepreg)- také Resin (přírodní pryskyřice) B po vytvrzení C, je v základu nevytvrzený materiál sloužící k elektrickému oddělení jednotlivých vrstev, má adhezni vlastnosti tudíž slouží také jako pojivo. Používá se v tloušťkách 0,05 - 0,18 mm, jeho vytvrzení je dokončeno při procesu laminace. Uschovává se v chladicích boxech před použitím.
- RCC fólie (resin coated copper)- jedná se o materiál, který se používá ke skládání jednotlivých vrstev nebo jako poslední vrstva VV DPS, která slouží k zhotovení mikropropojů (microvia). Je tvořena dvěma vrstvami prepregu, jednou vytvrzenou a druhou nevytvrzenou (lepicí) na niž je vrstva mědi. RCC fólie tvořená např. Polyclad PCL-CF-400

s $T_g = 170^\circ\text{C}$. [8] Používají se v tloušťkách 30 až 60 μm . [25]

- Typy možných desek pro průmyslovou výrobu ukazuje Obrázek 13.



Obrázek 13.:Příklady možných typů VV DPS s vysokou hustotou propojení. [25]

-Vytváření VV struktury:

Vícevrstvá DPS je vytvářena skládáním na sebe vrstev prepregu, stavebních DPS a vnějších DPS, které jsou posléze sesouhlaseny pomocí otvorů a značek a poté vakuově laminovány za přítomnosti vakua (vyčerpání vzduchu), teploty a velkého tlaku.

2.1 Mikropropoje (Microvia)

Stále rostoucí požadavky na miniaturizaci a úsporu materiálu vedou k aplikacím HDI (High Density Interconnection(vysoká hustota propojení)) a HDMLB ((High Density Multilayer Boards(vysoká hustota vícevrstevných desek). V těchto aplikacích se využívá mikropropojů tzv. microvia, které můžeme definovat jako pokovené cesty s průměrem menším než 150 μm .

Mikropropoje snižují velikost, hmotnost i počty vrstev na DPS. Na Obrázku 15 je vidět výbrus mikropropoje s vyznačeným vnějším průměrem a průměrem průchozího otvoru.[1]

Mikropropoje můžeme zhotovovat těmito technologiemi:

- laserem (přibližně 90% všech vyráběných mikropropojů)
- fotolitograficky tzv.fotostrukturalizace (5%)
- mechanicky vrtáním (3%)
- leptáním plazmou (2%) [1]

Druhy otvorů:

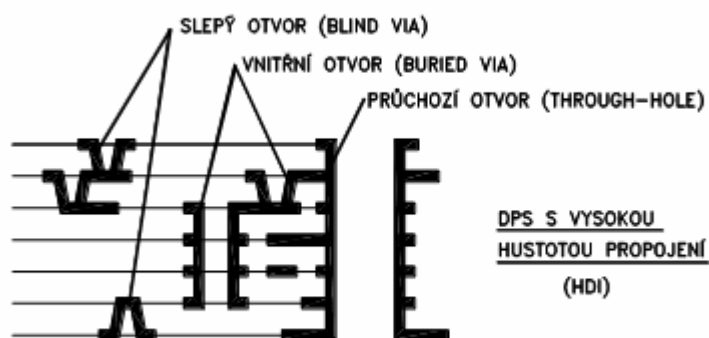
- součástkové - jsou určeny pro vývody součástek, stěny otvorů jsou pokoveny s dobrou pájitelností.
- propojovací otvory též signálové – bývají pokoveny nebo vyplněny vodivým materiálem,

běžně nazývány microvia.

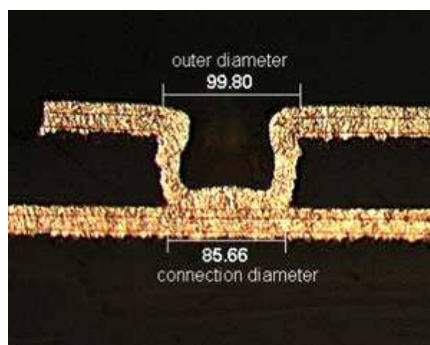
Můžeme je rozdělit do těchto základních typů:

- slepý (blind via) - propojuje vnitřní vrstvu s primární nebo sekundární vrstvou
- vnitřní - skryté (buried via) - propoj mezi vnitřními vrstvami
- průchozí (through via) - propojuje primární vrstvu se sekundární, často se zhotovují jako maskované

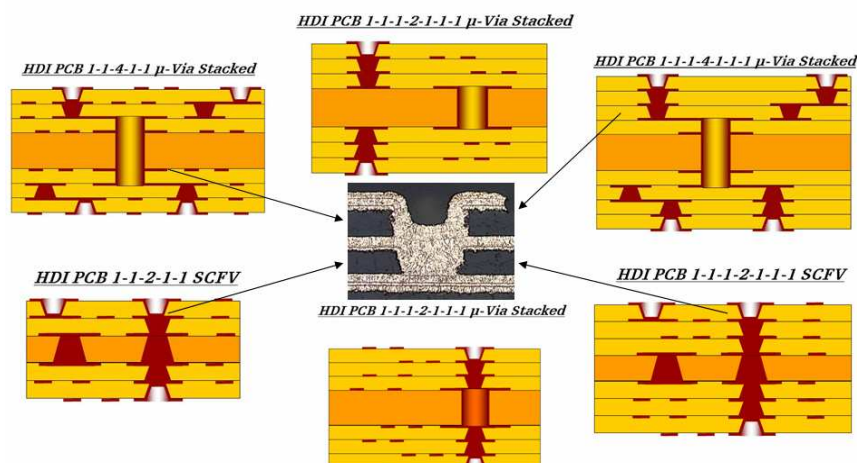
Znázorněny jsou na Obrázku 14 níže: [1]



Obrázek 14.: Ukazuje jednotlivé typy propojů.



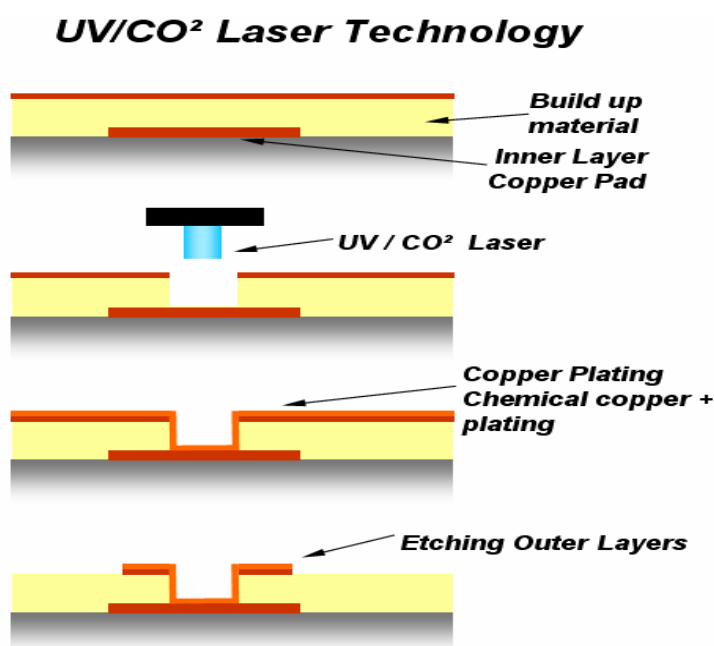
Obrázek 15.: Na obrázku je řez mikrovýbrusem slepého propoje „blind via“[4]



Obrázek 16.: Na Obrázku jsou zobrazeny možné typy sériově vyráběných VV DPS s mikropropoji, uprostřed je vidět průřez dvěma mikropropoji (microvia) na sobě, spodní je vyplněný vodivým materiálem. [25]

Nejužívanější zhotovování mikropropojů je pomocí laserů, tyto lasery dělím do dvou základních typů:

- **UV YAG** laser pracuje s vlnovými délkami v UV spektru (355 nm). Velká energetická hustota laserového paprsku je z cca 60% absorbována měděným povrchem a suchou cestou se vytvoří požadovaný otvor v plátovaném Cu povrchu. V druhém kroku tzv. foto –ablaci dochází k rozbíjení organických molekul dielektrika působením vysoké energie fotonů a jeho odpaření (beze zbytkové odstranění materiálu) viz. Obrázek 17. Tyto lasery jsou vhodné jak pro vrtání otvorů do organických i anorganických materiálů, mají lepší strmost leptaných děr oproti např. leptání plazmou. [1]



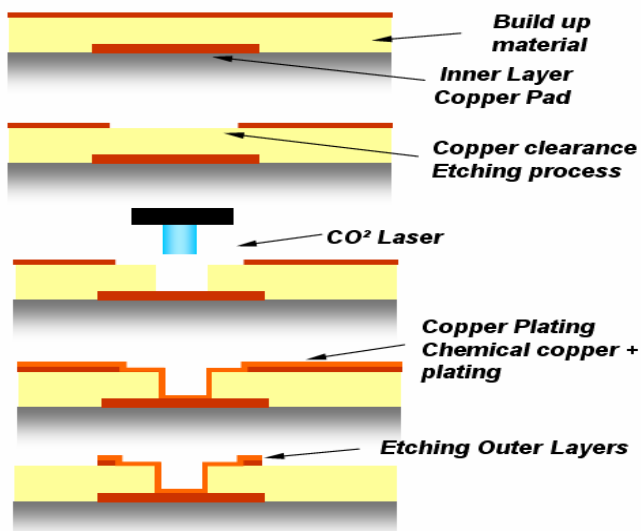
Obrázek 17. Na tomto obrázku je znázorněn postup výroby mikropropoje pomocí UV YAG laseru.[4]

- **CO₂** laser pracuje s vlnovými délkami 9300-10.600 nm. Relativně velká vlnová délka je odražena měděným povrchem a silně interaguje s dielektrikem, proto se tyto lasery používají k vrtání do organických materiálů (pryskyřic) viz. Obrázek 18. Běžně se používají dva typy CO₂ laserů a to:

- TEA (Transvers Excited Atmospheric) – otvory do materiálu FR4 (jádro je tvořeno skelnou rohoží)

- RF (Radio Frequency) – pro čisté neplněné pryskyřice [1]

Large Window (CO₂) Laser Technology



Obrázek 18. Zachycuje postup při vrtání CO₂ laser do plátovaného ZM ve kterém je před vrtáním odleptána měděná vrstva, která odráží paprsek CO₂ laseru.[4]

3. Návrh výrobní linky na výrobu VV DPS

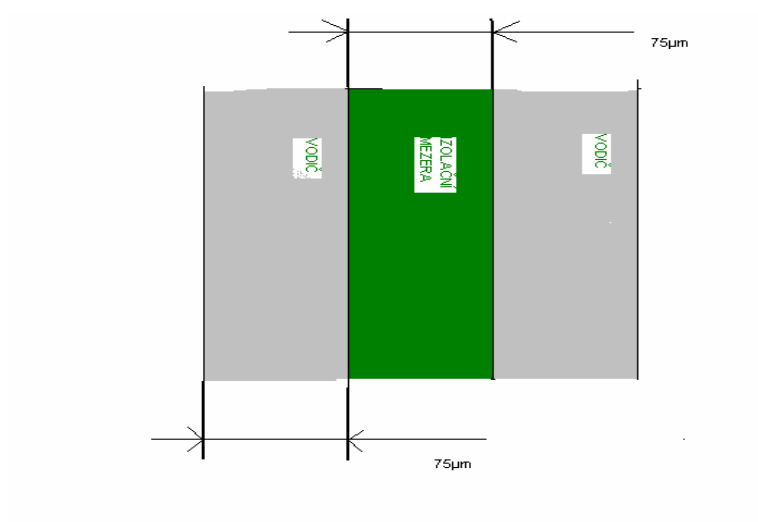
3.1 Požadavky na výrobní linku a jednotlivé výrobní operace

V dnešní době je pro přežití malých a středních firem nezbytně důležité získávat nové zákazníky, to znamená oslovit je něčím zajímavým (poměrem cenou/výkon, druhem výrobku apod.), pro firmu ČEMEBO s.r.o. zabývající se výrobou DPS je těžké konkurovat zahraničním asijským a jiným výrobcům DPS. Proto se rozhodla zavést výrobu VV DPS s mikropropoji, cílem této práce je rozpracovat a navrhnout technologii pro jejich výrobu spolu s vhodným postupem výroby.

Při návrhu výrobní linky bylo vycházeno ze základních daných požadavků na množství vyráběných VV DPS v m² a na parametry jako rozlišení (vzdálenost mezera/vodič), maximální průměr mikropropojů tzv. microvia.

- Požadované základní parametry na výrobu VV DPS:

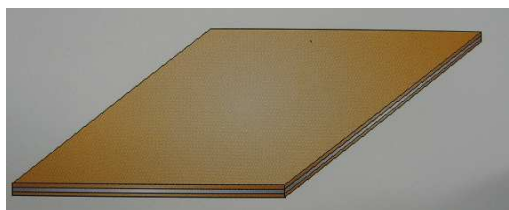
- Roční kapacita linka: 2000m²
- Minimální průměr mikropropojů (microvia): 50μm
- Rozlišení (vodič/mezera): 75μm - názorněji na Obrázku 19.



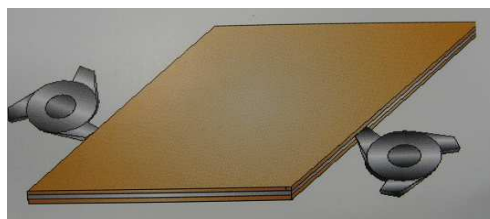
Obrázek 19. Znázorňuje požadovanou tloušťku vodič/mezera tedy rozlišení propojovací struktury VV DPS.

3.2 Popis jednotlivých operací při výrobě VV DPS

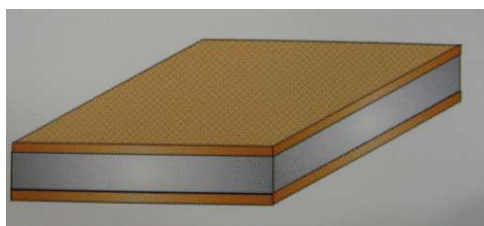
1. Přířez plátovaného základního materiálu např. oboustranně plátovaná FR4.



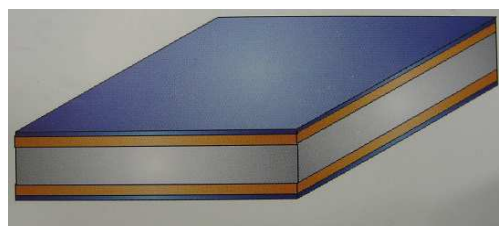
2. Upravení rozměrů desky (ořezání, obroušení) na požadovanou velikost.



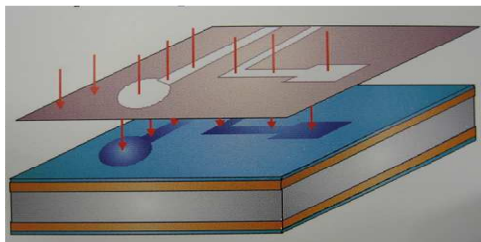
3. Očištění povrchu od nečistot (kartáčování). fotorezistu).



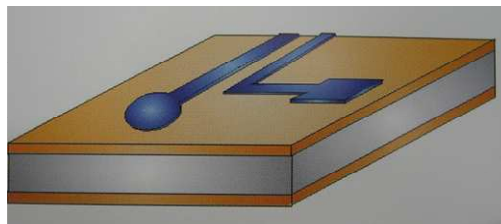
4. Laminace fotocitlivé masky (negativního fotorezistu).



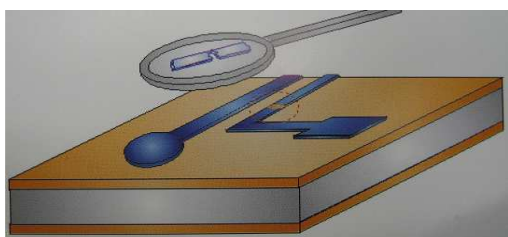
5. Vyvolání fotocitlivé masky pomocí pozitivní filmové předlohy (osvícený obrazec zpolymerizuje a vytvrdí se) .



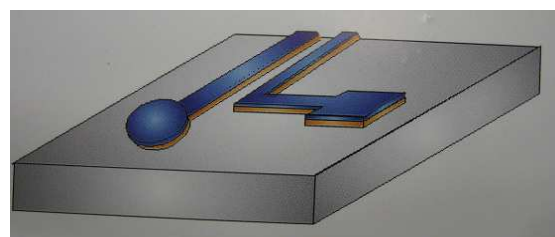
6. Odstranění nevytvrzené fotocitlivé vrstvy (fotorezistu).



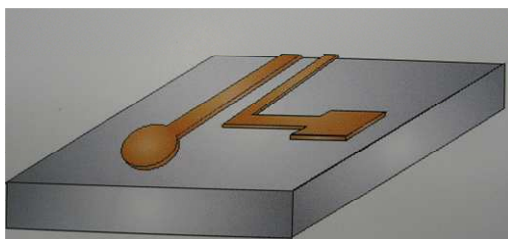
7. Optická kontrola vytvrzeného fotorezistu (správné krytí požadovaných vodivých struktur atd.).



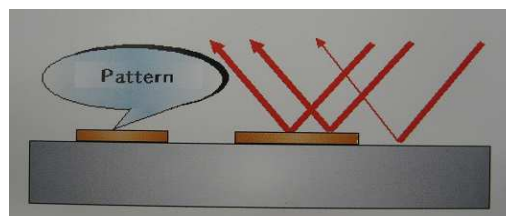
8. Vyleptání obrazce to znamená odleptání ploch nekrytých vrstvou vytvrzeného fotorezistu v lázni s kyselinou volenou dle typu použitého fotorezistu a technologického postupu.



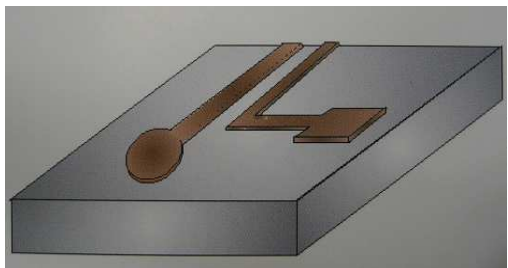
9. Odstranění (odstripování) fotocitlivé vrstvy (fotorezistu).



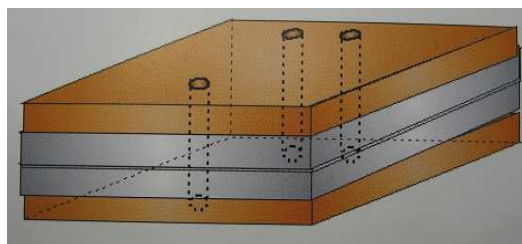
10. Automatická optická inspekce, kontrola vyleptaného vodivého motivu pomocí automatizačního zařízení.



11. Ochrana povrchu mědi a pájecích plošek, růst inhibitorů oxidu mědi.



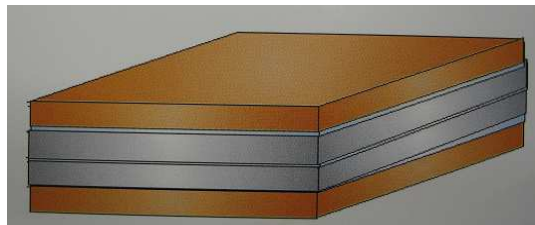
12. Vrtání pomocných otvorů pro sesouhlasení desek při laminaci více desek v lisu.



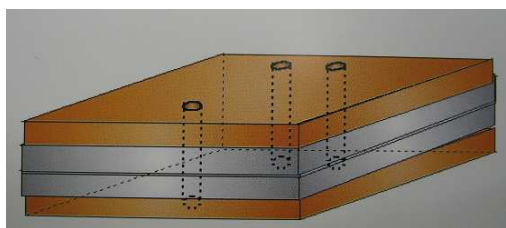
13. Lay-Up, sesouhlasení více desek dohromady spolu s proložením prepregem (izolační a lepicí vlastnosti) a pláty mědi. Velmi důležité je přesné technologické sesouhlasení.



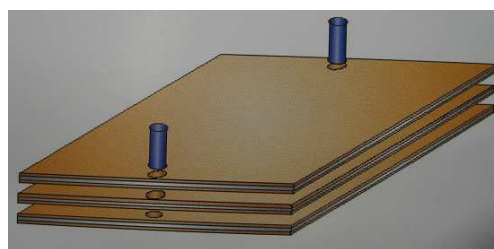
14. Slisování seskládané struktury při vakuu (vyčerpáním vzduchu) při určitém předepsaném tlaku a teplotě po danou dobu.



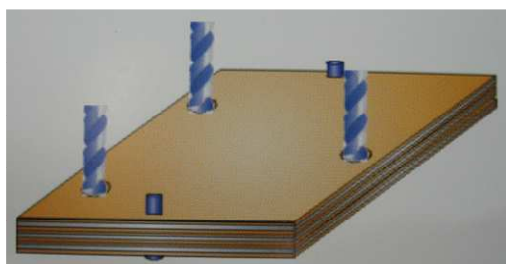
15. Vrtání otvorů pro sestavení více dílčích DPS dohromady.



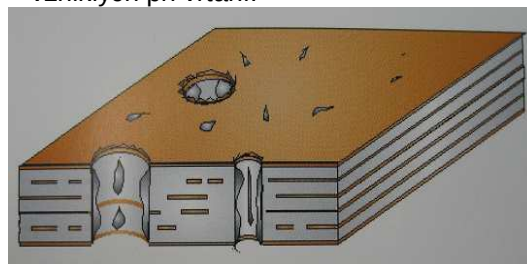
16. Sesouhlasení DPS na sebe.



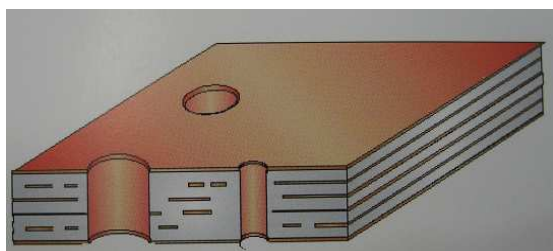
17. Vrtání pokovených průchozích otvorů skrz již sestavenou vícevrstvou DPS.



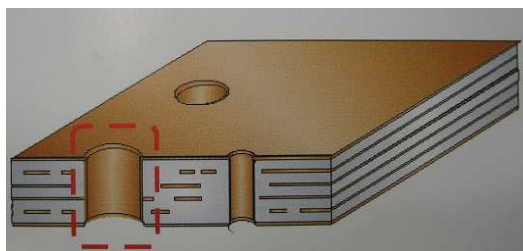
18. „Odjehlování“ tj. odstraňování vrtacích otřepů z otvorů a jiných nečistot vzniklých při vrtání.



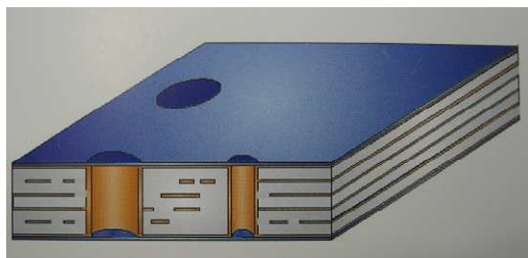
19. Pokovení VV DPS chemickou mědí, pokoví celou VV DPS i vyvrtané otvory, jedná se ale o tenkou vrstvu, která je pouze přípravná pro galvanický pokovením.



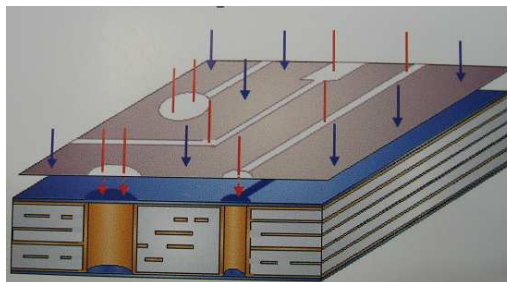
20. Galvanické pokovení průchozích otvorů, tloušťka nanesené vrstvy cca (20 až 40) μm .



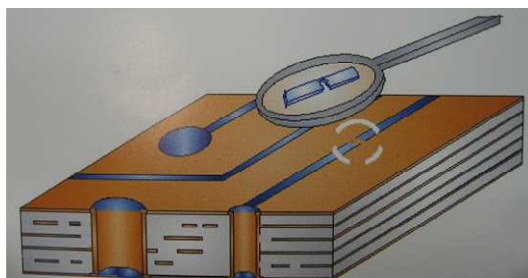
21. Opětovné nanesení (laminování) fotocitlivé masky (fotorezistu), sloužící k vytvoření propojovacích struktur na vnějších stranách VV DPS.



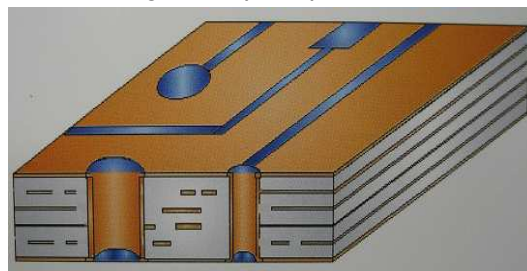
22. Expozice fotorezistu pomocí šablony nebo technologií LDI s následným vyvoláním.



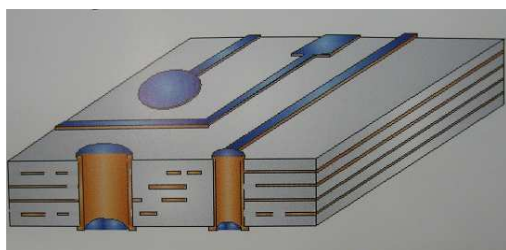
23. Optická kontrola vytvrzeného fotorezistu (správné krytí požadovaných vodivých struktur atd.).



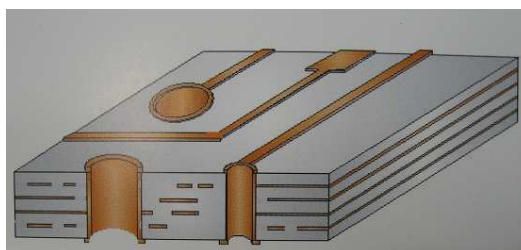
24. Vyleptání obrazce to znamená odleptání ploch nekrytých vrstvou vytvrzeného fotorezistu v lázni s kyselinou volenou dle typu použitého fotorezistu a technologického postupu.



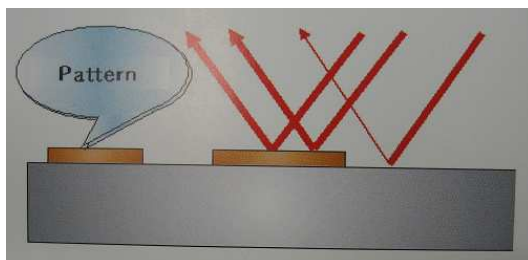
25. Po odleptání ploch nekrytých fotorezistem následuje odstranění (odstripování) fotocitlivé vrstvy (fotorezistu).



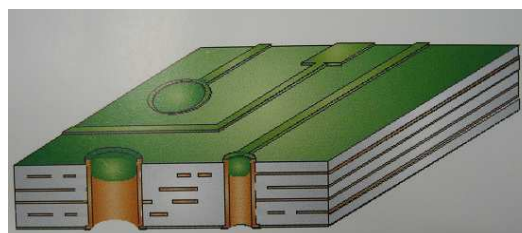
26. Vyleptaný vodivý motiv na vnějších stranách VV DPS.



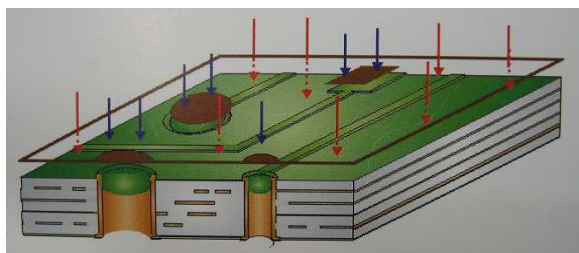
27. Automatická optická inspekce, Kontrola vyleptaného vodivého motivu pomocí automatizačního zařízení.



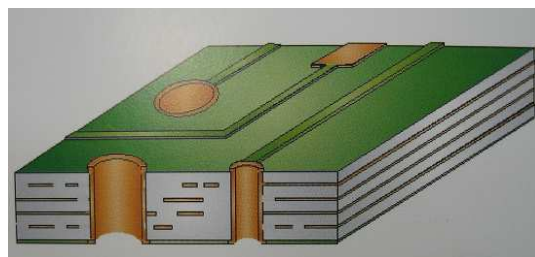
28. Nanesení nepájivé masky (většinou zelené barvy), která se nanese na celou plochu DPS pomocí např. síťotisku.



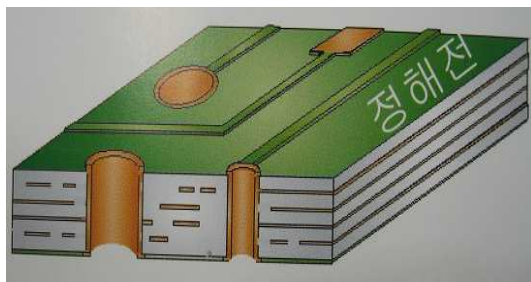
29. Vyvolání nepájivé masky pomocí negativní šablony. Vyleptané plochy a cesty jsou skryty nepájivou maskou, potřebné pájecí plošky a průchozí pokovené otvory nejsou ozářeny, nedojde na nich k polymerizaci a nepájivá maska se na nich nevytvrdí.



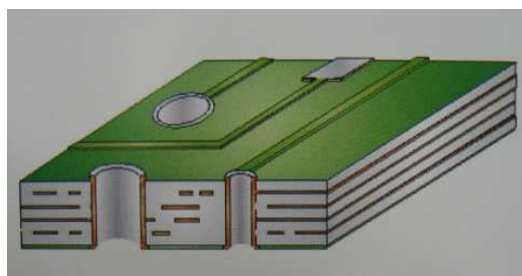
30. Vyvolání nepájivé masky, nevytvrzené oblasti (pájecí plošky, pokovené otvory) nepájivé masky jsou odstraněny (smyty).



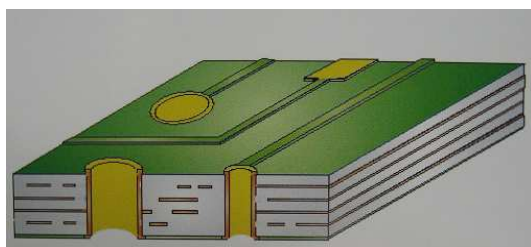
31. Zhotovení výrobních popisků a značek (číslo desky, série, typ, atd.)



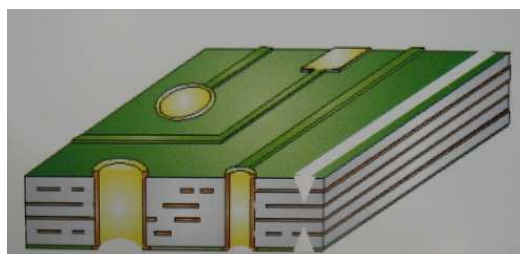
32. Ochrana pájecích plošek proti oxidaci, degradaci a pro zachování dobré smáčivosti chemickým (bez pomoci el. proudu) nanesením niklu (Ni).



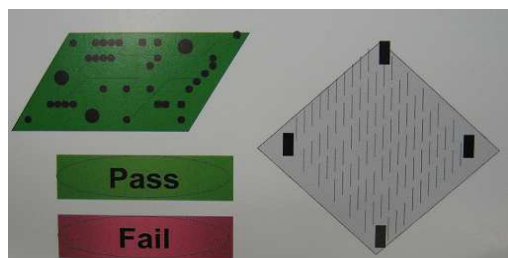
33. Chemické nanesení zlata (Au) na vrstvičku niklu (Ni). Nanášení se provádí v bezkvanidových zlatcích lázních. Systém úpravy povrchu Ni/Au se provádí pro náročné aplikace ve kterých se uplatní jeho výhody jako možnost kontaktování pájecích plošek a velká rovinnost povrchu.



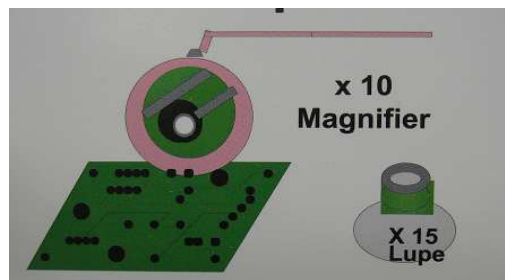
33. Rozřezání přířezu na jednotlivé VV DPS, provádí se takzvaným frézováním (vyfrézováním drážky tvaru „V“) a posléze vylomením.



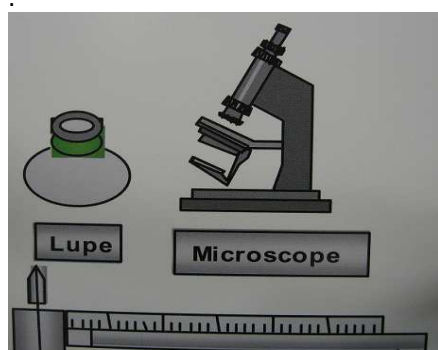
34. Kontrola funkčnosti desky pomocí kontaktovacích jehel a inspekčního vyhodnocovacího zařízení.(funkční test).



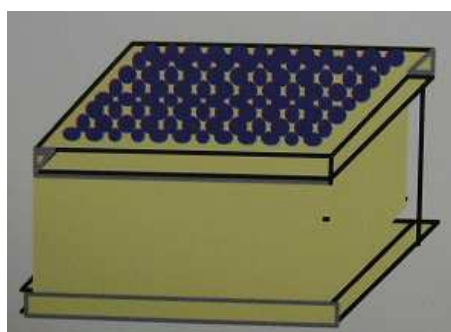
35. Vizuální kontrola (manuální) pomocí lupy se zvětšením (10 až 15)tinásobným.



36. Výstupní optická inspekce a kontrola určitých sledovaných parametrů (např. výsledná tloušťka).

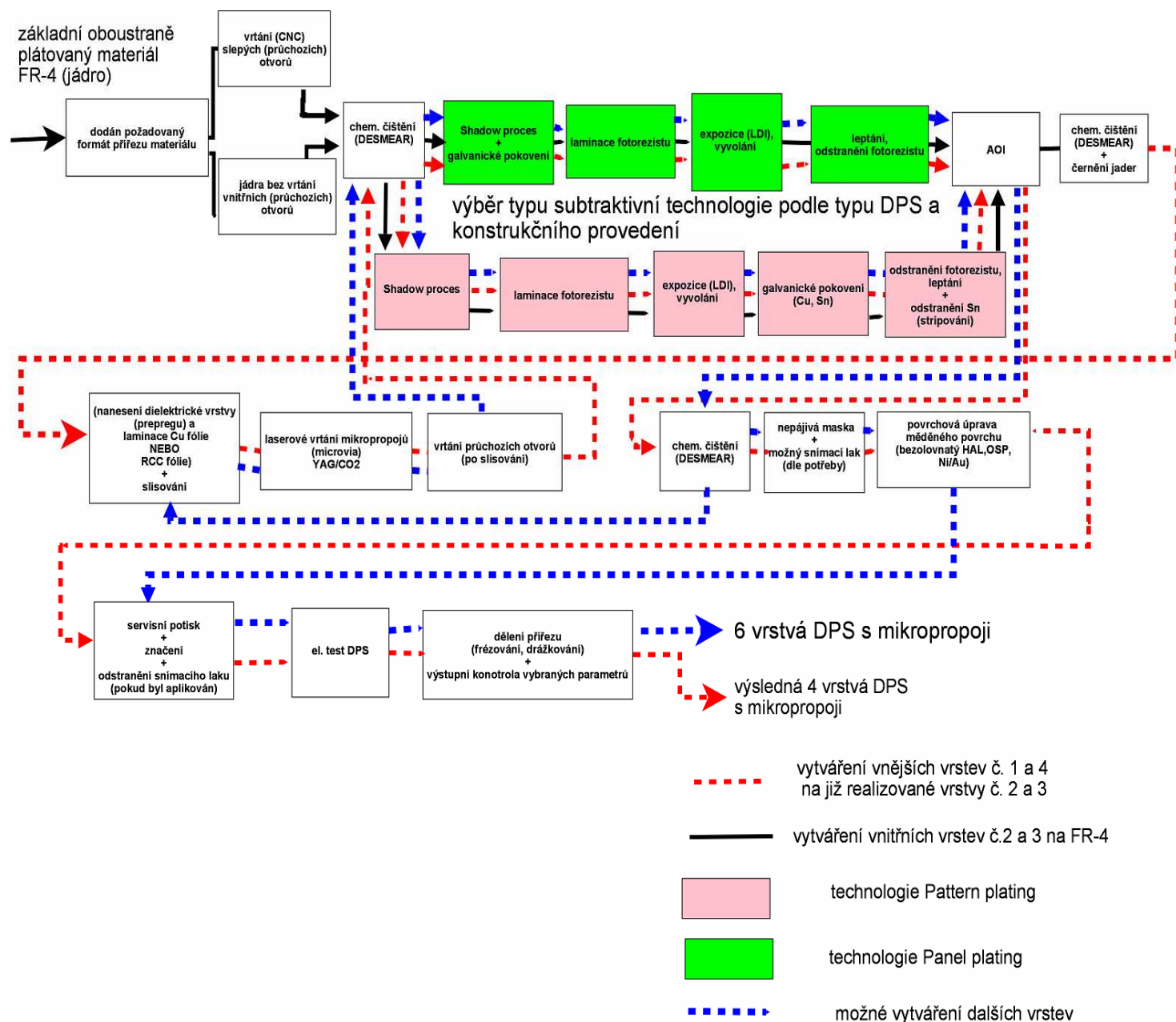


37. Balení hotových VV DPS a následná expedice zákazníkovi.



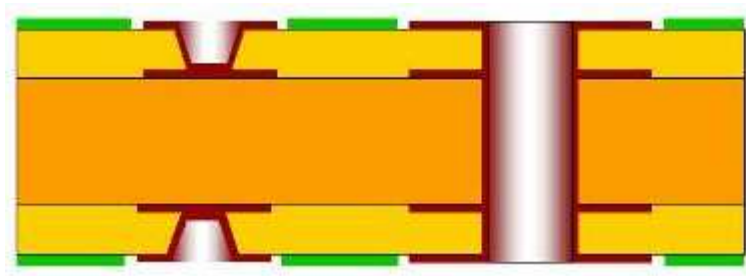
Zdroj: [4]

3.3 Navržené blokové schéma pro výrobu výroby 4V DPS

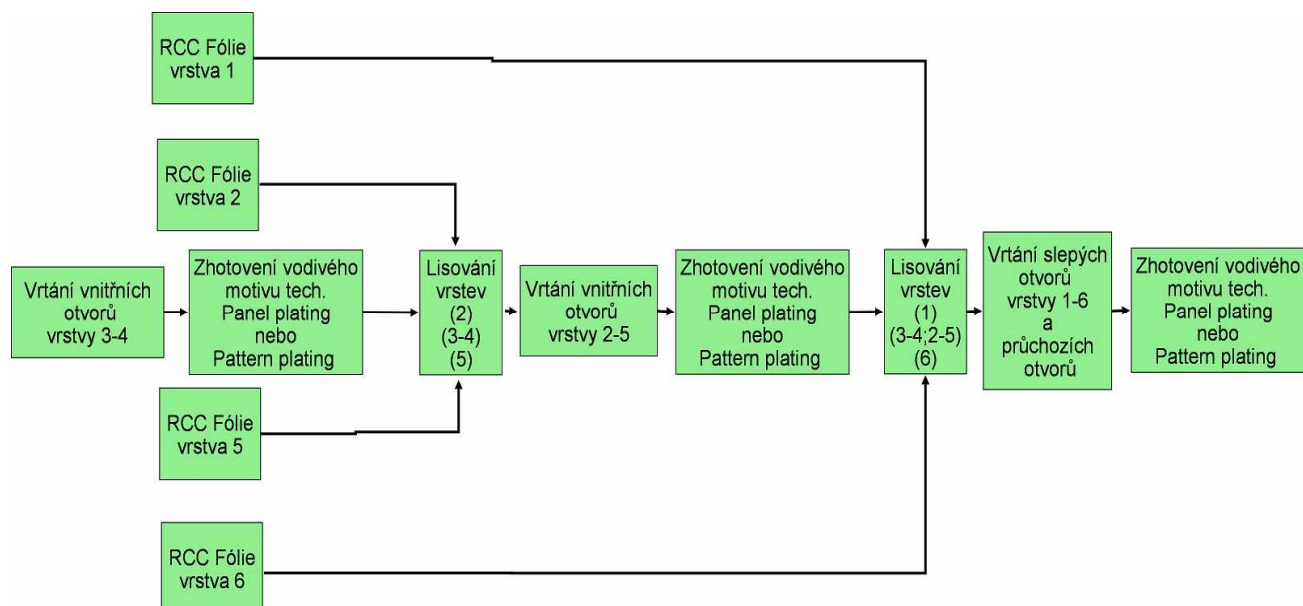


Navržené blokové schéma odpovídá postupu výroby motivu pomocí technologie panel plating nebo pattern plating s využitím metody SBU (sequential build-up). Metoda zhotovování vodivých motivů je vybírána podle typu VV DPS, jejího provedení a náročnosti motivu požadovaného zákazníkem. Jako dielektrické a lepící vrstvy je možné použít např. prepreg, který je posléze potažen Cu fólií, nebo rovnou RCC fólií která obsahuje vrstvy prepregu a Cu fólie. Po předvytvrzení dielektrické vrstvy se zhotoví mikrootvory zpravidla laserem (CO₂, YAG). Vlastní pokovení (Cu) se děje chemicky pomocí procesu „shadow“ (tenká vrstva) a pro zesílení galvanicky. Poté se nanese fotorezist a vytvoří se požadovaný vodivý motiv, na který se nanese ochranná vrstva např. Ni/Au. V tomto navrženém procesu není realizováno vodivé

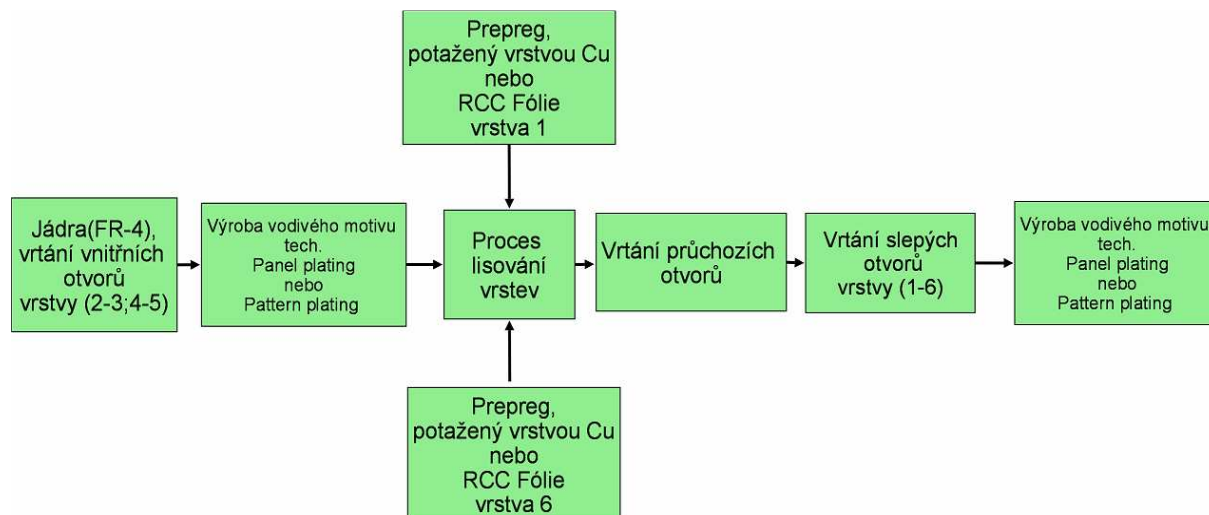
propojení mezi vrstvami v jednom kroku. Kritickými operacemi je vytvoření požadované adheze mezi substrátem FR4, dielektrikem a vrstvou Cu. Důležitá je volba TCE dielektrika pro minimalizaci mechanického namáhání. [1]



Obrázek 20.: Ukazuje výslednou 4 vrstvou DPS, postup výroby viz.blokové schéma v kapitole 3.3. [4]



Obrázek 21.: Metoda SBU s mechanicky vrtanými průchozími otvory. Spojení pomocí průchozích otvorů se provádí v jednom kroku, pokud není třeba jinak.



Obrázek 22.: RCC fólie nebo prepreg potažený mědí s laserovým vrtáním mikropropojů. Propojení jednotlivých vrstev je realizováno v jednom kroku.

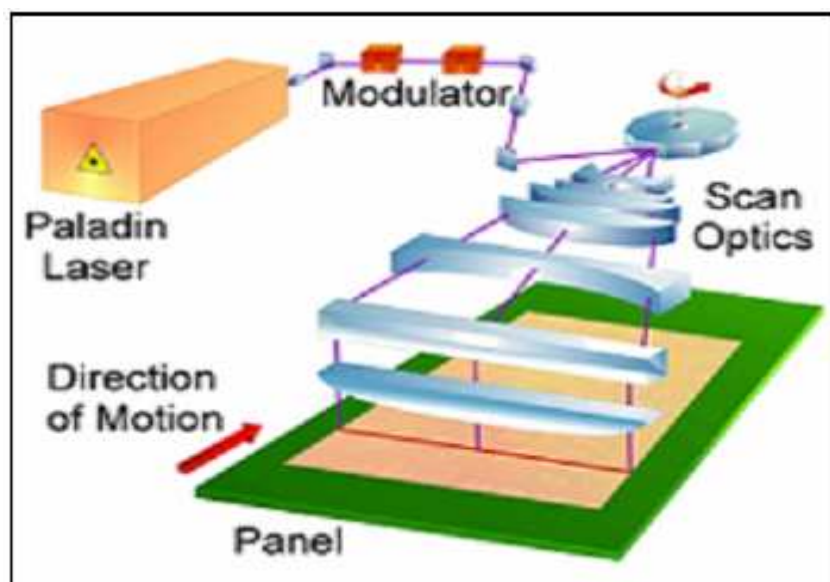
4. Zařízení pro výrobní linku VV DPS

4.1 Vytváření vodivých motivů

LDI (Laser Direct Imaging)

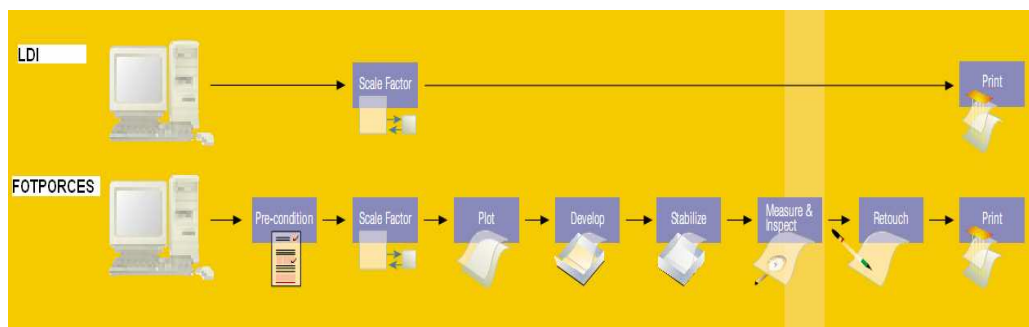
-pomocí této technologie jsme schopni nahradit fotopoces, LDI systém pracuje na principu laserového paprsku o UV vlnové délce (355nm, neviditelné světlo). Pomocí tohoto paprsku, upraveného optickou soustavou se vytvářejí motivy do fotocitlivého rezistu viz. Obrázek 21. Mezi výhody této metody patří:

- nepoužívají se šablony a filmové předlohy (úspora kroků viz. Obrázek 22)
- fine line aplikace
- flexibilní výroba (snadná změna motivu)
- velmi dobré sesouhlasení obrazu

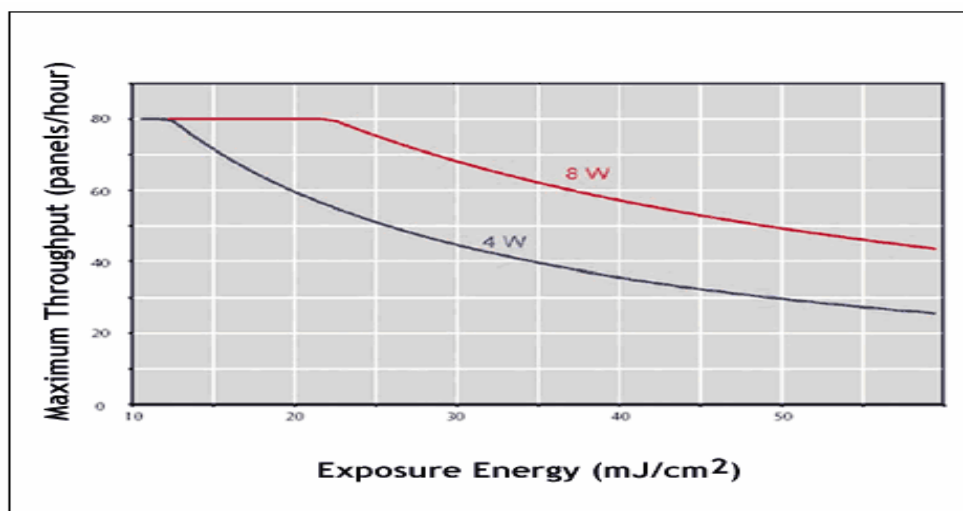


Obrázek 21.: Schéma rastrovacího LDI systému.

LDI paládiové lasery se vyrábějí v provedení 8W a 4W, výkonnější laser je vhodnější z hlediska průchodnosti DPS (počet DPS za hodinu) a použitého fotorezistu s vyšší expoziční energií viz. Obrázek 23. Průchodnost paládiové LDI laseru je 80 DPS/hod., což by mělo být dostatečné pro většinu podniků. Šířka čáry (vodivé cesty) je standardně 50 μ m, při použití rezistu umožňujícího super-fine-line, rozlišení je možné dosáhnout i 25 μ m. Fotorezist se používá méně drahý suchý film s expoziční energií 20 mJ/cm².



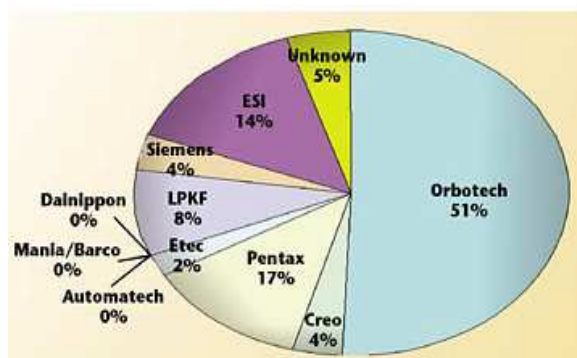
Obrázek 22.: Úspora kroků při použití technologie LDI oproti klasické cestě vytváření motivu pomocí fotoproduktu.



Obrázek 23.: Z grafu je patrná závislost počtu DPS na energii laseru a expoziční energii použitého fotorezistu. [12]

Zařízení od firmy Orbotech model DP100 / DP100SL LDI viz. Obrázek 25, umožňuje výrobu motivů na vnitřních a vnějších vrstvách a nepájivé masky s průchodností až 120 DPS/hod.

Orbotech je největším výrobcem technologií LDI ve světě viz. Obrázek 24.



Obrázek 24.: Odhadovaný podíl světové produkce technologie LDI podle výrobců. [11]

Vybrané parametry systému DP100SL:

- Rozlišení u systému DP100SL (tj. nejmenší možná vzdálenost dvou bodů): 6,3μm

- Nejmenší rozlišení: 50 μ m (vodič/mezera)
- Nejmenší tloušťka substrátu se kterým je možno pracovat: 0,025mm



Obrázek 25.: LDI laser od firmy Orbotech s označením DP100SL a minimální tloušťkou vodiče 50 μ m. [11]

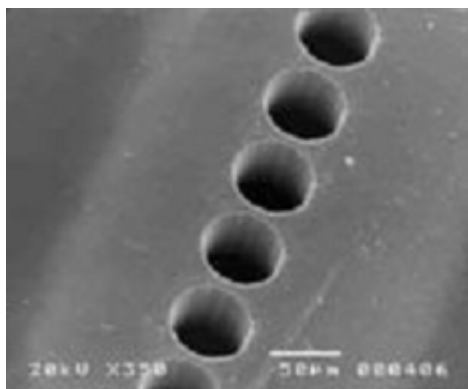
4.2 Vytváření mikropropojů (microvia)

YAG laser je v dnešní době nejpoužívanější typ pevnolátkového laseru. Aktivním materiálem je izotropní krystal Yttrium Aluminium Granátu (Y3Al5O12) dopovaný ionty neodymu (Nd). Byl vybrán pro vrtání měděné fólie a dielektrika (prepregu). Asi 60% energie je pohlceno měděnou fólií a dielektrikum se odstraní tzv. foto-ablací, což je odpaření molekul dielektrika (prepregu). YAG laser se používá typicky o vlnové délce 355nm. Buzen je nejčastěji xenonovou výbojkou nebo diodou. V závislosti na době buzení může generovat záření jak v impulsním tak i v kontinuálním režimu. Maximální výkon v kontinuálním režimu dosahuje několika stovek wattů. V impulsním režimu se délka impulsu může v závislosti na druhu modulace jakosti rezonátoru pohybovat v rozmezí od mikrosekund až po jednotky pikosekund. Na Obrázku 26 jsou zvětšené vyvrtané otvory o velikosti 50 μ m.

Zařízení bylo vybráno od společnosti Oxford Lasers Ltd. viz. Obrázek 27, konkrétně model řady E s označením ProbeDrill^{TM355}.

Mezi jeho základní parametry patří:

- Laser o vlnové délce 355nm, Diode-pumped
- Vrtané otvory průměru min. 5 μ m, max. 400 μ m s tolerancí $\pm 0,05\%$ z průměru vrtaného otvoru
- Rozlišení systému ProbeDrill^{TM355} $\pm 0,1\mu$ m v ose x,y a v ose z 1 μ m



Obrázek 26.: Otvory 50µm v polyimidovém materiálu. [9]



Obrázek 27.: Systém pro laserové vrtání mikropropojů od společnosti Oxford Lasers Ltd.. [9]

4.3 Zařízení na laminaci fotorezistu Riston® LDI 500

K vybranému fotorezistu Riston® LDI 500 bylo od stejné společnosti doporučeno laminační zařízení DuPONT HRL-24 Film Laminátor viz. Obrázek 28.

Parametry zařízení:

- Předehřev (40 – 70) °C
 - Teplota laminačního válce (100-120) °C
 - Rychlost otáčení válce: (0,6 -1,5) m/min.
 - Pomocný tlak vzduchu: (0 – 2,8) bar
 - Maximální tloušťka panelu 65 cm
- Předpokládaná výstupní teplota DPS:
- Vnitřní vrstvy: (60-70) °C
 - Vnější vrstvy (Cu/Sn,Cu/Sn-Pb) (45-55) °C



Obrázek 28.: Zařízení pro laminaci suchého fotorezistu DuPONT HRL-24 Film Laminator. [10]

4.4 Zařízení pro automatickou optickou kontrolu (AOI)

Z mnoha zařízení bylo vybráno v tuzemsku často používané DISCOVERY 6 od společnosti Orbotech Ltd. jehož hlavní předností oproti konkurenci je kvalitní SW, jednoduchost, rychlost a vysoká průchodnost. Toto zařízení využívá dat technologie SIP k měření a kontrole desek.

SIP (Session Initiation Protocol) operuje na aplikační vrstvě, má na starost zavádění a ukončování a udržování spojení mezi dvěma nebo více koncovými stanicemi. Po spuštění (zahájení inspekce) vykoná instrukce (kroky) a po zadání příkazu ukončí proces kontroly.

Zařízení se hodí pro kontrolu vnitřních vrstev díky systému DRC - Design Rule Check (kontrola pravidel návrhu), který dokáže sám posoudit, zda zjištěná chyba je závažná a ukáže ji, nebo zda neohrozí funkci plošného spoje a pak ji nezobrazuje. Tyto informace získává z kompletních dat desky logickým spojením všech vrstev od masky Top až po masku Bott. To je například velmi výhodné při kontrole vnitřních vrstev vícevrstvých DPS. Vnitřní software lze vyladit uživatelsky tak, že odhaluje pouze závažné chyby. [11]

Základní parametry:

- Nejmenší rozlišení: 50 μ m (vodič/mezera)
- Maximální velikost kontrolovaného panelu: (660 * 610) mm.
- Průchodnost při tloušťce vodičů 75 μ m, je stroj za hodinu schopen zkontrolovat 120 stran DPS.



Obrázek 29.: Zařízení pro AOI od společnosti Orbotech Ltd. model Discovery 6. [11]

4.5 Zařízení pro elektrické testování DPS

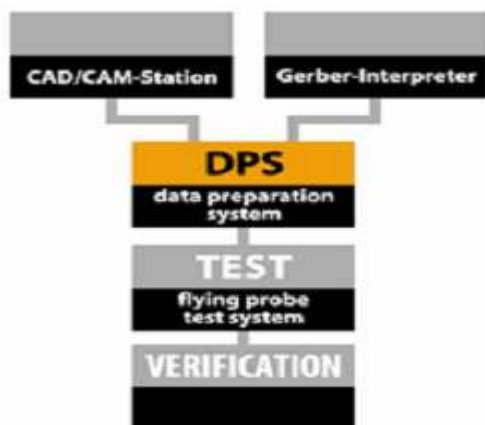
Pro elektrické testování neosazených DPS bylo vybráno zařízení od společnosti ATG, která se specializuje na výrobu elektronických testerů se kterou začala již v roce 1979.

Jako konkrétní zařízení byl vybrán model A6a viz. Obrázek 31, doplněný dopravníky, které se hodí pro středně velké a velké série DPS. Jedná se o plně automatizované zařízení s 16 tzv. plovoucími kontaktními hroty (flying-probe) a s vysokou průchodností. Zařízení je vybaveno

kamerou, která porovnává údaje s parametry pro výrobu DPS v PC tzv. Gerber daty, viz Obrázek 30. Zařízení je schopno testovat i DPS s vysokým rozlišením až 75 μ m (šířka vodič/mezera) a 35 μ m velikost pájecí plošky. [13]

Parametry zařízení:

- 16 testovacích hrotů (8 pro horní a 8 pro spodní stranu DPS)
- Nejmenší testovatelná ploška: 35 μ m.
- Nejmenší testovatelné rozlišení: 75 μ m (vodič/mezera)
- Maximální velikost testované DPS: (600* 620) mm
- Průchodnost: až 9000 testů/minuta



Obrázek 30.: Systém el. testování DPS u zařízení ATG A6a pracujícího s Gerber daty. [13]



Obrázek 31.: Plně automatizované zařízení ATG A6a s podávacím dopravníkem a dvěma výstupními dopravníky pro špatné a dobré DPS. [13]

4.6 CNC zařízení pro vrtání otvorů

Základním požadavkem kladeným na zařízení pro mechanické vrtání otvorů byl dostatečně malý průměr vrtaných otvorů (až. $100\mu\text{m}$), průměr otvorů pro HDI aplikace je asi 220 až $75\mu\text{m}$, tyto velikosti je možné mechanickými vrtačkami vytvořit, ovšem nejběžnější velikost vrtaných otvorů je kolem $150\mu\text{m}$. Vrtačka byla vybírána s ohledem na to, aby dokázala vyvrtat otvor o průměru $100\mu\text{m}$ ovšem počítá se s optimální (nejčastější) velikostí vrtaných otvorů cca $150\mu\text{m}$. Vrtačka bude sloužit k vrtání vnitřních (buried via) a průchozích (through hole) otvorů u VV DPS. Další důležitý požadavek byl dostatečný počet vrtacích vřeten pro střední a velkosériovou výrobu DPS ke které ve společnosti ČEMEBO s.r.o. dochází.

Z mnoha výrobců CNC vrtaček bylo po zvážení všech parametrů a ohlasů vybráno zařízení od společnosti MANIA Tschechien s.r.o. Jejich stroj Micronic 86 viz. Obrázek 32 nabízí vrtání otvorů až do průměru $100\mu\text{m}$ a disponuje šesti vřeteny.

Zařízení Micronic 86 je vhodné pro vrtání velkoobjemových sérií VV DPS (pevných i ohebných). Stroj umožňuje pracovat s rozlišením (vodič/mezera) až $25\mu\text{m}$. [15]

Základní parametry zařízení Micronic 86:

- Maximální velikost zpracovatelného přířezu: (54,4 * 74,8) cm
- Průměr vrtaných otvorů: (0,1 až 6,3) mm
- Otáčky vrtacích vřeten: (20 - 185 000) ot./min.
- Počet vrtacích vřeten: 6
- Přesnost umístění: $\pm 0,005\text{mm}$



Obrázek 32.: Zařízení Micronic 86 od společnosti MANIA Tschechien s.r.o. určené pro vrtání VV DPS, které obsahuje šest vřeten. [15]

4.7 Zařízení pro laminaci VV DPS

Pro vytváření VV DPS je třeba jednotlivé vrstvy na sebe takzvaně lepit k tomuto účelu slouží laminační lis. Laminační lis pracuje s velkými tlaky při vysoké teplotě a odčerpaném vzduchu (ve vakuu). Velmi důležité je správné sesouhlasení jednotlivých vrstev DPS na sebe. Z mnoha výrobců lisů jako Lauffer, Brukler, Wabash bylo vybráno zařízení od společnosti HML Multilayerpresen GmHb, konkrétně model LP 2000-VK viz. Obrázek 33. Jedná se o dvouetážový laminační lis s vakuovou komorou plně řízený PC s přesnou kontrolou průběhu teplot a tlaků.

Základní parametry zařízení:

- Počet lisovacích komor (etáže): 2
- Vnitřní šířka: 9,5cm
- Velikost lisovacích ploch: (66*81)cm
- Přítlačná síla: 900kN
- Maximální teplota: 250°C
- Rychlost stoupání teploty z 40°C na 175°C: 25s; Rychlost ochlazování: plně nastavitelná



Obrázek 33.: Lis LP 2000-VK vhodný pro středně velké série VV DPS plně ovládaný pomocí PC. [17]

4.8 Zařízení pro konečné dělení přířezu - frézováním

Pro dělení přířezu na konečné konkrétní VV DPS je možno využít frézovací zařízení, které současně zpracovává více přířezů (podle počtu vřeten). Počet vřeten a tedy i počet VV DPS rozdělených pomocí frézování volíme podle předpokládané produkce, v našem případě je počítáno s roční produkcí 2000m² tj. uvažovaná roční kapacita linky. S přihlédnutím k těmto požadavkům bylo vybráno 6 vřetenové frézovací zařízení od společnosti Excellon Automation Co.. Konkrétně model EXCELLON 689 viz. Obrázek 34 určený především pro středně velké až velké série VV DPS. Zařízení je vybaveno šesti ve vzduchu uloženými vřeteny.



Obrázek 34.: Frézovací CNC zařízení Excellon 689 se šesti vřeteny od společnosti Excellon Automation Co., pro formátování přířezu. [18]

Toto CNC zařízení je vybaveno šesti vysokootáčkovými vřeteny, jednoduchou a komfortní obsluhou pomocí PC a nastavitelnou velikostí přířezu od malých velikostí až po přířezy ve velikosti (55,1*76,2) cm. [18]

Základní parametry:

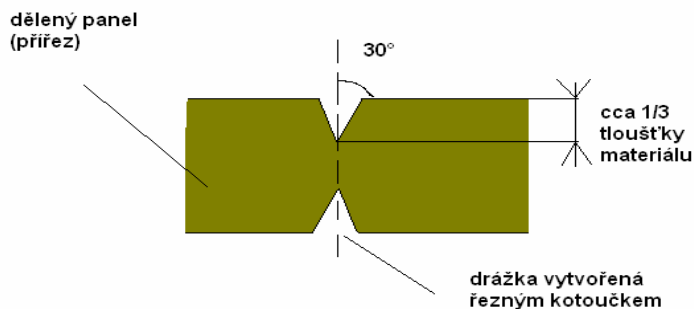
- Rychlost otáčení vřeten: (20 000 až 180 000) ot./min.
- Maximální velikost přířezu (panelu): (55,1*76,2) cm
- Rozlišení přístroje: $\pm 0,0005$ mm

4.9 Zařízení pro konečné dělení přířezu - drážkováním

Dalším používaným způsobem pro konečné dělení (formátování) přířezu je metoda drážkování tzv. scoring. Jedná se o vytváření protilehlých drážek z obou stran materiálu ve tvaru "V" názorněji Obrázek 35. Při drážkování se do desky v jednom nebo obou směrech vytvoří z obou stran speciální kotoučovou pilkou drážky do hloubky cca jedné třetiny tloušťky desky. Tolerance opracování po odlomení je $\pm 0,3$ mm. Drážkovat lze DPS oboustranně s volitelnou hloubkou drážek (obou stejných). Drážky budou vést od jednoho okraje přířezu k druhému nebo jen po obrysech výsledné VV DPS. Úhel drážky je 30° , šířka je (dle hloubky drážky) 0,3 - 0,5 mm. Zařízení bylo vybráno od společnosti Seetrax CAE Ltd. zabývající se výrobou zařízení pro mechanické dělení VV DPS a vývojem programové podpory pro návrh DPS. Zařízení Multi-score viz. Obrázek 36 disponuje plně automatickým podavačem a umožňuje drážkovat dvě VV DPS současně. Společnost Seetrax CAE Ltd. také dodává náhradní řezné kotouče a veškeré potřebné vybavení pro provoz drážkovacího stroje.

Základní parametry:

- Automatický podavač.
- Rychlost otáčení kotouče: 8m/s
- Průměr kotouče a úhel svírající se svislicí: 10cm, 30°
- Maximální počet kotoučů (pro spodní a horní stranu): 10
- Manuální upínání VV DPS
- Maximální velikost přířezu (panelu): (71*71)cm [20]



Obrázek 35.: Princip dělení materiálu pomocí drážkování.



Obrázek 36.: Zařízení Multi-score PCB V-Cut od společnosti Seetrax CAE Ltd.. [20]

4.10 Zařízení pro nanášení nepájivé masky

Pro nanášení nepájivé masky na plochu přířezu (panelu) bylo vybráno zařízení od společnosti MASS GmbH která nabízí zařízení pro středně velké série VV DPS s označením Curtain Coater LG 250-63 viz. Obrázek 37, toto zařízení má na starost nanášení fotocitlivé nepájivé masky metodou rozlévání. Fotocitlivá nepájivá maska je automaticky pumpována ze zásobníku. Zařízení je vybaveno mikroprocesorem, který kontroluje viskozitu pumpované nepájivé masky ze zásobníku. [21]

Základní parametry za řízení:

- Rychlosti dopravníku: (0,2 - 5) m/min.
- Použitelné pro všechny druhy běžně používaných nepájivých masek.
- Šířka pracovní plochy: 62,5cm
- Tloušťka nanášené vrstvy: (20 -60) μm
- Rychlost polévání: 90m/min.



Obrázek 37.: Zařízení Coater LG 250-63 pro nanášení nepájivé masky tečením od společnosti MASS GmbH.. [21]

4.10.1 Zařízení pro vysušení nanesené nepájivé masky

Po nanesení vrstvy nepájivé masky zařízením Curtain Coater LG 250-63 je třeba masku vysušit. Tato operace se provádí ve speciálním zařízení ve kterém desky procházejí určitým podélným teplotním profilem a jsou během průchodu zařízení postupně vysušovány. Zařízení bylo vybráno od stejné společnosti (dle doporučení technologa společnosti ČEMEBO s.r.o.) jako pro nanášení nepájivé masky (MASS GmbH.). Zařízení MD4000- Magazine Dryer viz. Obrázek 38, slouží k horizontálnímu sušení panelů VV DPS, vyznačuje se velkou variabilitou pro různé velikosti panelů (přířezů) VV DPS až do velikosti 76*76cm. [21]

Základní parametry zařízení:

- Maximální velikost přířezu (panelu): (76*76) cm
- Tloušťka přířezu (panelu): (0,2 až 15) mm
- Průchodnost panelů při sušení po nanesení nepájivé masky: přibližně 100 DPS/hod.
- Teplota nastavitelná v rozsahu: (70 - 150) °C , pro sušení VV DPS po nepájivé masce v rozmezí (70 - 90) °C.



Obrázek 38.: Vertikální sušicí systém pro různé velikosti přířezů (panelů) až do (76 *76) cm od společnosti MASS GmbH.. [21]

4.10.2 Zařízení pro UV expozici vysušené masky

Po vysušení nepájivé masky následuje vlastní expozice tj. přenesení motivu na VV DPS, tímto krokem určíme ty místa, kde zůstane nepájivá maska a ty místa na kterých nebude (pájecí a kontaktní plošky apod.). Expozici provádíme přes filmovou předlohu (negativní nebo pozitivní, volíme podle typu nepájivé masky). Filmové předlohy jsou zhotoveny na fotoplotteru na základě dat od zákazníka. Po expozici je z míst kde nemá být nepájivá maska odstraněn nevytvrzený materiál tzv. vyvolání nejčastěji v hydrátu uhličitanu sodného. Servisní potisk a jiné značení je zhotovováno stejným způsobem.

Exponuje se UV zářením s vlnovou délkou kolem 300nm. Velmi důležitou operací je proces sesouhlasení přířezu (panelu) a filmové předlohy. Vybrané zařízení FAPS 600 viz. Obrázek 39 od společnosti Bacher Systems GmbH disponuje dvěma kamerami pro sesouhlasení přířezu a filmové předlohy a dvěma kamerami pro kontrolu v expoziční oblasti. [22]

Základní parametry:

- Maximální velikost přířezu: (61*61) cm
- Minimální velikost přířezu: (35,6*28,0) cm
- Maximální tloušťka přířezu (panelu): 6mm
- Minimální tloušťka přířezu (panelu): 50µm
- Přesnost sesouhlasení: ±10µm
- Rozlišení: až 50µm (podle typu použité lampy)

- Doba zpracování jednoho přířezu: 17 sekund + doba expozice

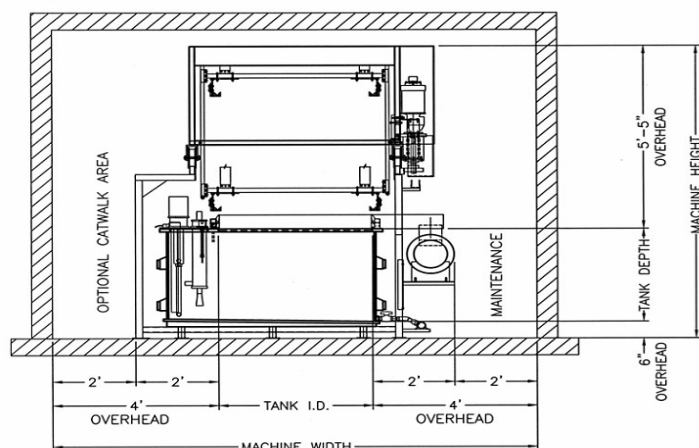


Obrázek 39.: Zařízení FAPS 600 pracující v UV spektru, pro expozici nepájivé masky. [22]

4.11 Zařízení pro povrchovou úpravu měděného povrchu nechráněného nepájivou maskou

Ochranu před oxidací a zajištění dlouhodobé skladovatelnosti a pájitelnosti měděného povrchu zajišťuje povrchová úprava mědi. Z celé řady běžně používaných typů úprav (HAL - bezolovnatý, OSP, chemicky nanášený Ni/Au, Sn, a Ag) se jako nejvhodnější jeví povrchová úprava chemickým niklováním a chemickým zlcením povrchu Ni/Au. Dále je možné použít stále rozšířenější chemické stříbření nebo také OSP dle požadavků na výslednou VV DPS. Ni/Au povrchová úprava je finančně o něco náročnější, ale její přednosti a výhody odpovídají kvalitě zpracování VV DPS, a proto ji lze zvolit jako výchozí. Základní přednosti Ni/Au patří, velmi dobrá rovinnost povrchu, možnost kontaktování, vhodnost pro fine-pitch aplikace a možnost opakovaného pájení (vícenásobný teplotní cyklus). Nanášení probíhá chemicky nebo galvanicky po aplikaci nepájivé masky, formou nanesení vrstvy Niklu (Ni) a posléze zlata (Au) na odhalený měděný povrch. Postup výroby je následující: na již galvanicky prokovený přířez se galvanicky nanese vrstva niklu (5 až 1) μm a (1 až 3) μm zlata. Ni/Au úprava se dá použít zároveň jako technologická operace – ochrana před leptáním při tvorbě motivu v tom případě je vrstva niklu stejná (5 až 10) μm , ale vrstva zlata se nanáší chemicky v tloušťce (0,05 až 1) μm .

Vybrané zařízení E60 Bridgematic Hoist 50 series viz. Obrázek 40 pro chemické nanášení vrstvy niklu a imerzní nanášení zlata (ENIG-electroless nickel immersion gold) od společnosti Eidschun Engineering, Inc., je plně automatizováno s vertikálním posunem přířezů (panelů). Zařízení má automatické nabírání a vydávání DPS, obsah 90 l. Tento typ se hodí pro středně velké série VV DPS. [23]



Obrázek 40.: Částečná výkresová dokumentace zařízení E60 (Bridgematic Hoist 50 series) se základními rozměry. [23]

4.12 Zařízení pro sesouhlasení jednotlivých vrstev VV DPS

Při vytváření vrstev VV DPS je velmi důležité jednotlivé vrstvy přesně sesouhlasit. Sesouhlasení se provádí vždy před lisováním v laminačním lisu (LP 2000-VK). Tomuto sesouhlasení je věnována velká pozornost jelikož na něm závisí výsledná kvalita a spolehlivost výsledné VV DPS.

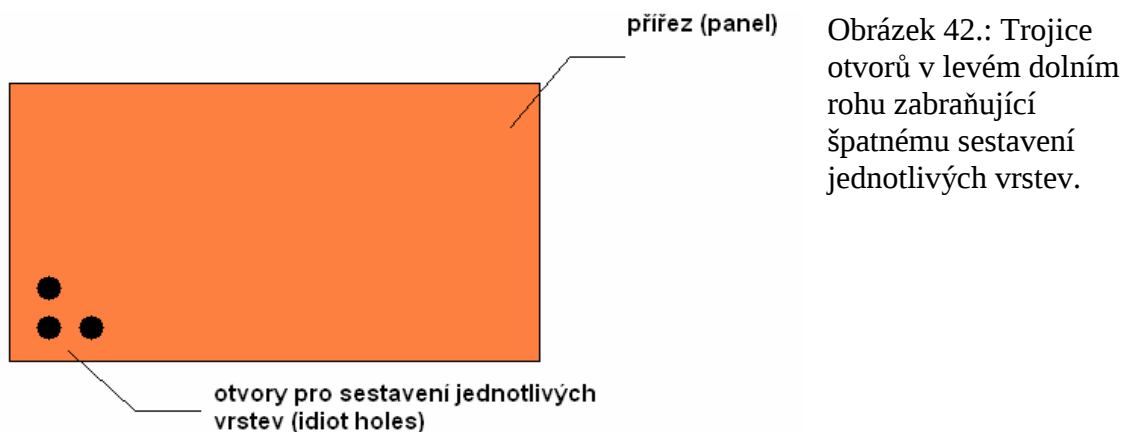
U VV DPS s HDI a rozlišením 75 μm je toto sesouhlasení velmi náročné. Zařízení pro sesouhlasení využívá vrtaných děr (např. tři v rohu panelu (přířezu)) a kamery pracující na principu RTG záření. U čtyřvrstvých DPS je z důvodů jednoznačného sesouhlasení všech vrstev zvolen referenční bod, jehož poloha je definována ve všech vrstvách. Obvykle se jedná o vhodně zvolený otvor popř. skupinu otvorů.

Pro sesouhlasení všech vrstev je možné použít i jiný způsob, kdy je ve všech vrstvách nakreslen obrys VV DPS. V takovém případě se za referenční bod považuje takový otvor, jehož vzdálenost od počátku souřadnicové soustavy je nejmenší.

Obdobně se skládají i vícevrstvé desky s tím rozdílem, že vnitřní vrstvy jsou registrovány na kolíky tak, aby motivy na těchto vrstvách byly umístěny co nejpřesněji. Registrační otvory v deskách se vytváří při vrtání každé vrstvy. Kolíky mají rozdílné průměry a jsou umístěny excentricky tak, aby polotovary nebylo možno přehodit.

Z nabídky zařízení byl vybrán model InnerVision 1272X viz. Obrázek 41 od společnosti Operations Technology Inc., toto zařízení je schopné provádět měření a sesouhlasení jednotlivých vrstev VV DPS. Zařízení je schopno rozpoznat a měřit různé deformace, špatně sražené či asymetricky sestavené VV DPS nebo rozpoznání offsetů (odchylek). Používá se při všech činnostech, které mají být kontrolovány jako vrtání průchozích otvorů, laminace nebo pro nás důležité sesouhlasení před lisováním. InnerVision 1272X je vybaveno vysokorozlišovací RTG kamerou, která je umístěna na pohybovacím elektronickém kloubu. Zařízení obsahuje všestranný plně programovatelný software, který automaticky na základě dat z návrhového programu provádí kontrolu VV DPS. Ovládací software také nabízí možnost manuálního zadání detailní individuální kontroly určitých částí nebo rozměrů, jako umístění otvorů, tloušťky čar apod.. RTG kamera umožňuje nastavit energii svazku RTG záření tak, aby kontroloval určité vnitřní vrstvy. Systém navíc umožňuje statistické zpracování naměřených dat (tloušťky čar, velikosti různých prvků, odchylek apod.) pro vyhodnocení a další optimalizaci procesu. [24]

Při dobrém sesouhlasení a minimalizaci chyb jako špatně otočené nebo převrácené vrstvy je nutno vyvrtat do přířezu (panelu) několik děr (nejlépe 3), které bude zařízení kontrolovat, viz. Obrázek 42.



Obrázek 42.: Trojice otvorů v levém dolním rohu zabraňující špatnému sestavení jednotlivých vrstev.

Základní parametry zařízení InnerVision 1272X:

- Rozměry pracovní plochy: (127*91,5) cm
- Rychlost posunu kamery: cca 76cm/s
- Přesnost zaměření: $\pm 5 \mu\text{m}$
- Doporučená teplota okolí v rozmezí: (18-23) °C



Obrázek 41.: Zařízení pro předslisovací kontrolu a sesouhlasení jednotlivých vrstev VV DPS od společnosti Operations Technology Inc.. [24]

5. Materiály vhodné k výrobě DPS s mikropropoji

5.1 Fotorezist pro technologii LDI

Suchý fotorezist pro technologii LDI je třeba vybrat s přihlédnutím k vlnové délce laseru a jemnosti struktur DPS. Jako nejvíce vhodný se jeví suchý fotorezist od nadnárodní společnosti DuPONT, která nabízí řadu fotorezistů určenou speciálně pro technologii LDI. Suchý fotorezist s označením

Riston® LDI 500 viz. Obrázek 43, který je vhodný pro záření o vlnových délkách 350-380 μm tj. UV záření. Tento fotorezist je odolný vůči leptacím kyselinám a zásadám (alkalickým). Běžně používané rozlišení pro, který je tento fotorezist vhodný je 50 μm (tloušťka mezera/vodič). Fotorezist LDI 500 nabízí vhodný poměr. Energie, která je pro polymerizaci fotorezistu nutná se pohybuje v rozmezí (8 – 12 mJ/cm²), tento fotorezist nabízí velmi dobrý poměr cena/kvalita/rozlišení. [10]



Obrázek 43.: Přiblížený pohled na vyvolaný fotorezist Riston® LDI 500. [10]

5.2 Základní materiály pro vícevrstvé DPS

Pro konstrukci a výrobu vícevrstvých DPS je třeba kvalitní materiály s velmi dobrými vlastnostmi jako především dobré teplotní vlastnosti (teplota skelného přechodu T_g), odolnost vůči změnám teploty (teplotním cyklům), vlhkosti atd. Společnost ISOLA se zabývá výrobou materiálů pro DPS, jako ekvivalent k materiálu FR-4 nabízí materiál s označením DURAVER-E-Cu quality 104i ML, který disponuje velmi dobrými vlastnostmi a je vhodný pro VV DPS. Dodává se s tloušťkou mědi 18 μ m, 35 μ m nebo 70 μ m. Nominální tloušťka materiálu 1,5mm, jiné tloušťky je možno po předchozí domluvě. [14]

Základní parametry:

- Teplota skelného přechodu T_g : 135°C
- Možnost až desetinásobného pájení přetavením bez ztráty kvality a vlastností materiálu.
- Delaminace nastává až při 260°C ,kterým je materiál vystaven po více než hodinu.
- Permitivita pro 1 MHz: 4,6 -4,9 [-]
- Vnitřní odpor: $6 \cdot 10^6 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$
- Povrchový odpor: $1,3 \cdot 10^6 \text{ M}\Omega$

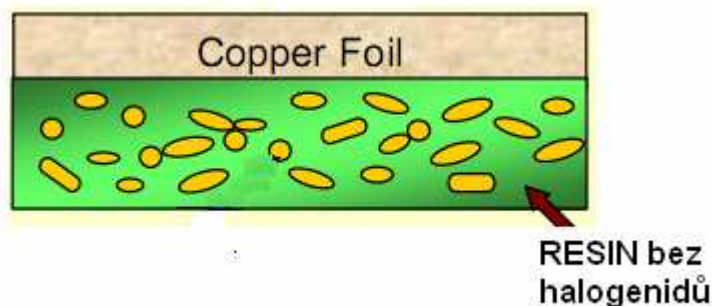
5.3 RCC fólie pro vytváření dalších vrstev na DPS

Pro vytváření dalších vrstev lepených na jádro DPS byla zvolena RCC (resin coated copper) fólie, která je vhodná pro VV DPS s vysokou hustotou propojení tzv. HDI. Aplikace fólie spočívá v laminaci na jádro a následně další vrstvy VV DPS. RCC fólie je tvořena vrstvou prepregu potaženou měděnou fólií viz Obrázek 44. Předním světovým výrobcem RCC fólií je společnost OAK - MITSUI nabízí celou řadu typů např.: MR500, MR500(LM) a MR600. Pro předpokládanou produkci společnosti ČEMEBO s.r.o byl vybrán typ MR500 s vlastnostmi plně postačujícími nárokům.

Základní parametry:

- Tloušťka resinu (syntetické pryskyřice): (40 - 100) μ m, běžně (65 -80) μ m.
- Tloušťka měděné fólie: (3 - 18) μ m.
- Teplota skelného přechodu (T_g) : 150°C
- Koeficient délkové roztažnosti (TKC): 70/160 (ppm/°C)
- Tažnost do prasknutí: 6,4%

- Navlhavost: 1,3%
- Vnitřní odpor: $2 \cdot 10^9 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$
- Povrchový odpor: $3 \cdot 10^8 \text{ M}\Omega$



Obrázek 44.: Složení RCC fólie, částečně předvytvrzený resin potažený měděnou fólií požadované tloušťky. [14]

5.4 Vrtáky pro vrtačku Micronic 86

Světovým výrobcem velmi kvalitních vrtáků je společnost KEMMER PRÄZISION GmbH, která se specializuje na produkci vrtacích a frézovacích nástrojů pro výrobu DPS. Nabízí nástroje pro klasické vrtání a frézování tak nástroje pro vrtání slepých mikropropojů (tzv. blind via). Společnost nabízí vrtáky od průměru 0,1mm (100μm) až 6,5mm, jiné průměry jsou možné po předchozí domluvě na požádání. Vrtáky jsou z karbidu křemíku, jenž je sloučenina uhlíku a křemíku, vyznačující se velkou tvrdostí.

Z nabízených vrtáků nejlépe vyhovuje řada MICRO DRILLS vhodné pro vrtání HDI VV DPS a materiálu FR-4.

Konkrétně model SH 38 viz. Obrázek 45 z wolfram karbidového materiálu, který se dodává v průměrech 0,1 až 0,45mm vyhovuje plně našim požadavkům. Je určen především pro VV DPS s vysokou hustotou propojení (HDI). [16]

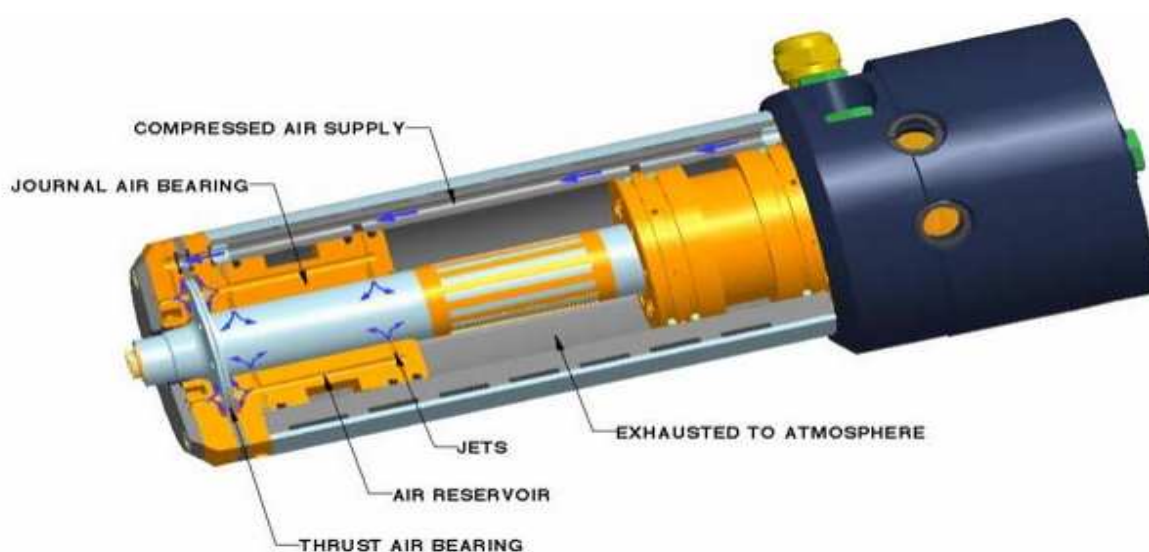
Obrázek 45.: Vrták určený pro VV aplikace DPS s HDI tvořených na základě materiálu FR-4. [16]



5.5 Vrtací vřetena pro vrtání a frézování

Velmi důležitou částí vrtacích nástrojů jsou vrtací vřetena do kterých se umísťuje vrták. Vřetena se liší především maximální (a optimální rychlostí počítání) ot./min nebo také rpm, velikostí průměru vrtáku pro které je jejich použití vhodné, maximální průměr vrtáku který lze do daného vřetena upnout.

Společnost Westwind AB (Air Bearings) se specializuje na výrobu vřeten pro všechny možné účely použití jako vrtání, frézování, broušení atd., také pro různé průměry vrtáků od 50 μm výše. Hlavní výhodou vřeten od této společnosti je její patentovaný bezkontaktní systém uchycení hřídele vrtáku tzv. Air Bearing (uložení ve vzduchu). Tento systém funguje na principu stlačeného plynu (obvykle vzduchu), který pracuje jako oddělovač dvou povrchů (hřídele vrtáku a vlastní hlavice vřetena) viz. Obrázek 46.



Obrázek 46.: Bezkontaktní technologie uložení hřídele vrtáku "Air Bearing" od společnosti Westwind AB. [19]

Velké výhody tohoto způsobu bezkontaktního uložení hřídele vrtáku jsou:

Nízké vzájemné tření (odpor) a opotřebování, jakožto i nižší zahřívání. Velmi dobré aerostatické a aerodynamické vlastnosti, které jsou způsobeny tím, že hřídel vrtáku není v kontaktu s plochou, ale je udržována v potřebné pozici pomocí velkého proudu stlačeného vzduchu. [19]

4. Závěr

Cílem teoretické části bylo seznámit se s základy výroby DPS a s běžně používanými technologickými postupy. Dále pak ukázat základní principy výroby VV DPS a jejich základní typy a modifikace. VV DPS jsou dnes již nutným standardem v nabídce všech výrobců DPS. Jejich hlavním přínosem je realizace složitějších a náročnějších obvodů na menší ploše s vysokým rozlišením a s využitím menšího množství materiálu, který podstatně snižuje jejich rozměry a hmotnost. Při výrobě VV DPS se využívají moderní technologie (např. LDI, laserové vrtačky YAG, CO₂ k výrobě mikropropojů, apod.) které umožňují realizovat složité motivy s vysokým rozlišením, značnou spolehlivostí a přesností.

V praktické části byl ve spolupráci s firmou ČEMEBO s.r.o. sídlící v Blansku realizován návrh linky na výrobu VV DPS s mikropropoji. Tato společnost již dříve vyráběla VV DPS ovšem klasickou technologií (slisování jednotlivých jader DPS, obvykle oboustranně plátovaný materiál FR-4, jednotlivé desky byly spojeny lepícími listy tzv. prepregy a následně zvodivěním průchozích otvorů spojujících jednotlivé vrstvy VV DPS.) s nepříliš vysokým rozlišením a s absencí mikropropojů. V rámci rozvoje společnosti ČEMEBO s.r.o. byl přednesen návrh na zavedení nové výrobní linky na výrobu VV DPS s mikropropoji.

Mým úkolem bylo navrhnout schéma technologického postupu při výrobě VV DPS s mikropropoji a doporučit vhodná výrobní zařízení a technologie. Nově navržený proces výroby VV DPS počítá s technologií SBU (sequential built-up) s využitím RCC fólií, dále s laserem vytvářenými mikropropoji tzv. microvia, které umožňují realizovat složitější struktury s podstatně vyšší přesností a tudíž i rozlišením. Další inovací by měla být technologie LDI (laser direct imaging), která velmi zjednodušuje postup vytváření vodivého motivu, tím že odpadá nutnost fotoproduktu s použitím filmových matric (předloh). Díky těmto technologiím by se mělo snížit stávající maximální rozlišení vodič / mezera 120μm na 75μm. Jednotlivé kroky postupu výroby čtyřvrstvé DPS s mikropropoji byly implantovány do blokového schématu v kapitole 3.3. Toto schéma bylo koordinováno s pomocí vedoucího technického úseku firmy ČEMEBO s.r.o. panem Ing. Miloslavem Zvejškou. V navrženém blokovém schématu je jasně vidět technologický tok jednotlivých operací s využitím metody Panel plating nebo Pattern plating kde je tato metoda volena podle konkrétního typu VV DPS a jejího konstrukčního provedení. Vrtání průchozích otvorů je voleno ideálně v jednom kroku, pokud to tedy konstrukční provedení a typ VV DPS dovoluje.

Navržená zařízení jsou vybrána s ohledem na kapacitu linky, předpokládanou roční vytiženost linky a požadované parametry. Zařízení mají být schopna pracovat s velkým rozlišením, velkou hustotou propojení (75μm vodič / 75μm mezera) a dostatečnou přesností. Při výběru zařízení bylo co nejvíce respektováno doporučení pana Ing. Miloslava Zvejšky na zúžení okruhu výrobců vybraných zařízení na co nejmenší počet tj. co největší počet zařízení od jednoho výrobce.

Schematický technologický tok i typ navržených zařízení by měl být vhodný nejen pro čtyřvrstvou DPS, ale i větší počty vrstev, nicméně je možná další optimalizace pro požadovaný technologický proces. Stejně je dále třeba optimalizovat a koordinovat volbu technologického spotřebního materiálu. Tato práce by měla napomoci jak k optimálnímu výběru vybavení pro výrobní linku, tak i k volbě vhodných výrobních technologických postupů.

Tabulka 1.: Seznam použitých symbolů a zkratek

DPS	Deska Plošných Spojů
ZM	Základní Materiál
HDI	High Density Interconnection (vysoká hustota propojení)
VV DPS	Více Vrstvá Deska Plošných Spojů
PCB	Printed Circuit Board (Deska plošných spojů)
FR	Flame Retardant (ZM se samozhášivými přísadami)
HAL	Hot Air Levelling (horkovzdušné vyrovnávání nanesené pájky)
OSP	Organic Surface Protectives (organická ochrana povrchu)
AOI	Automatic Optical Inspection (automatická optická kontrola)

5. Seznam literatury použité při zpracování práce

- [1] Starý, J. – Zatloukal, M.- Stejskal, P. *Pracovní verze 80509 skript předmětu MONTÁŽNÍ A PROPOJOVACÍ TECHNOLOGIE*. Brno: VUT, 2009.
- [2] Starý, J. – Kahle, P. *Elektronická verze skript předmětu PLOŠNÉ SPOJE A POVRCHOVÁ MONTÁŽ*. Brno: VUT, 2009.
- [3] PCBlibraries.com. *Fórum*. [online].
URL: < <http://www.dutchforce.com/~eforum/index.php?showforum=27> >
[cit. 2008-28-11].
- [4] Starý, J. *Výukové materiály k předmětu BPSM v laboratoři U11*. Brno: VUT, 2009.
- [5] Starý, J. *Přednáškové „slaidy“ předmětu plošné spoje a povrchová montáž (BPSM)*. Brno: VUT, 2009.
- [6] Internet [online].
URL: < <http://www.elektronika.estranky.cz/clanky/vyroba-plosnych-spoju/dps> > [cit. 2008-28-11].
- [7] Internet [online].
URL: < <http://hw.cz/Firemni-clanky/Printed/ART7-Pokovovaci-procesy-plosnych-spoju.html> > [cit. 2008-28-11].
- [8] Internet [online]. GPV Group.
URL: < <http://www.gpv-pcb.com/GPV-Chemitalic/Design-Parameters/Materials.aspx> > [cit. 2008-28-11].
- [9] Internet [online]. Oxford Lasers Ltd.
URL: < http://www.oxfordlasers.com/en/micromachining_systems.htm > [cit. 2009-1-3].
- [10] Internet [online]. DuPont.
URL: < [http://www2.dupont.com/Imaging_Materials/en_US/products/dryfilmPhoto resist/laserdirect.html](http://www2.dupont.com/Imaging_Materials/en_US/products/dryfilmPhoto%20resist/laserdirect.html) > [cit. 2009-3-13].

- [11] Internet [online]. Orbotech S.A.
URL: < http://www.orbotech.com/Laser_Direct_Imaging/ > [cit. 2009-3-13].
- [12] Internet [online]. Coherent, Inc..
URL: <<http://www.coherent.com/Applications/index.cfm?fuseaction=Forms.AppLevel2&AppLevel2ID=120>> [cit. 2009-3-13].
- [13] Internet [online]. ATG test systems.
URL: < http://www.atg-test-systems.de/index_frame.htm > [cit. 2009-3-13].
- [14] Internet [online]. OAK - MITSUI, Inc.
URL: < http://www.oakmitsui.com/pages/advancedTechnology/multi_foil.asp > [cit. 2009-3-15].
- [15] Internet [online]. MANIA Tschechien s.r.o. .
URL: < <http://www.maniagroup.com/index.php?id=92> > [cit. 2009-3-21].
- [16] Internet [online]. KEMMER PRÄZISION GmbH.
URL: < <http://www.shop.kemmer.de/kemmershop/index.aspx>> [cit. 2009-3-22].
- [17] Internet [online]. HML Multilayerpressen GmbH.
URL:< http://www.hml-hr.com/cgi/src/hml/phplib/showpage.php?/files/hml/main_e/index.htm> [cit. 2009-3-22].
- [18] Internet [online]. Excellon Automation Co..
URL:< <http://www.excellon.com/excellon689.htm> > [cit. 2009-3-29].
- [19] Internet [online]. Westwind AB (Air Bearings).
URL:<<http://www.westwind-airbearings.com/airBearing/index.html>> [cit. 2009-3-29].
- [20] Internet [online]. Seetrax CAE Ltd..
URL:< <http://www.seetrax.com/scorers.htm> > [cit. 2009-4-4].
- [21] Internet [online]. MASS GmbH..
URL:< <http://www.mass-pcb.de/English/lg250en.html> > [cit. 2009-4-5].

- [22] Internet [online]. Bacher Systems GmbH..
URL:< <http://www.bacher-systems.de/bs/en/produkte/produkte.htm>> [cit. 2009-4-5].
- [23] Internet [online]. Eidschun Engineering, Inc..
URL:< <http://www.eidschun.com/bridge.asp> > [cit. 2009-4-6].
- [24] Internet [online]. Operations Technology Inc..
URL:< http://www.optek.net/load.php?vars=prod_X_auto_split.txt >
[cit. 2009-4-12].
- [25] Materiály od společnosti AT&S.
URL: < <http://www.ats.net> > [cit. 2008-28-11].